

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh konstrukce zařízení pro havarijní vypouštění uhelného prášku
ze zásobníků u kotlů K1-K4 na Teplárně Karviná

Design of Equipment for Emergency Discharge of Coal Dust from Storage
Tanks for Boilers K1 - K4 Heating Plant in Karvina

Student:

Bc. Pavel Keresztes

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

Kopie zadání diplomové práce

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Keresztes**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2302T006 Energetické stroje a zařízení**
Téma: **Návrh konstrukce zařízení pro havarijní vypouštění uhelného prášku ze zásobníků u kotlů K1 – K4 v Teplárně Karviná**
Design of Equipment for Emergency Discharge of Coal Dust from Storage Tanks for Boilers K1 - K4 Heating Plant in Karvina

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh zařízení pro havarijní vypouštění uhelného prášku ze zásobníků uhelného prášku kotlů K1, K2, K3 a K4 v Teplárně Karviná.

Diplomová práce bude obsahovat:

1. Popis stávající technologie kotelny TKV.
2. Bilanční výpočty mlýnice a spotřeby uhelného prášku pro kotle TKV.
3. Přehled možných variant monitorování zásobníků uhelného prášku a snížení skladovací teploty.
4. Výběr a popis technického řešení úprav pro kotle TKV.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení přínosu rekonstrukce.

Grafické práce:

1. Schéma zařízení pro havarijní vypouštění uhelného prášku.
2. Konstrukční výkres zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Černý V. a kol. Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975.

Kolat P. Přenos tepla a hmoty, skripta VŠB Ostrava 1987.

ON 074017 Tepelný výpočet parních kotlů.

Dlouhý T. Výpočty kotlů a spalinových výměníků, skripta ČVUT Praha 2005.

ČSN 07 4010 – Provoz, obsluha a údržba zařízení na přepravu uhelného prášku.

ČSN 07 4009 – Předpisy pro zařízení na přípravu uhelného prášku.

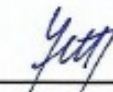
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. 5. 2014

Handwritten signature of Karel Pavel in blue ink, written over a dotted line.


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

18. 5. 2014



plné jméno autora práce

Adresa trvalého pobytu autora práce: Tylova 4/2779, Ostrava-Zábřeh, 700 30

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KERESZTES, P. Návrh konstrukce zařízení pro havarijní vypouštění uhelného prášku ze zásobníků u kotlů K1-K4 na Teplárně Karviná : diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 77 s. Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Čech B.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zařízení pro havarijní vypouštění uhelného prášku ze zásobníků na Teplárně Karviná. Diplomová práce se skládá z rešeršní a výpočetní části. Rešerše je zaměřena na popis stávající technologie Teplárny Karviná a přehled možných variant monitorování zásobníků uhelného prášku.

Ve výpočtové části jsou provedeny bilanční výpočty mlýnice a spotřeby uhelného prášku. Součástí výpočtové části je návrh technického řešení úprav zařízení pro havarijní vypouštění uhelného prášku. V závěru je provedeno technicko - ekonomické zhodnocení přínosu rekonstrukce.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

KERESZTES, P. Design of Equipment for Emergency Discharge of Coal Dust from Storage Tanks for Boilers K1 - K4 Heating Plant in Karvina: Diploma Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2014, 77 s. Thesis head: doc. Dr. Ing. Čech B.

This Thesis deals with the Design of Equipment for Emergency Discharge of Coal Dust from Storage Tanks. The thesis consists of theoretical and calculated parts. Theoretical part is focused on the description of technology Heating Plant Karviná and an overview of possible options for monitoring reservoirs of coal dust.

In the calculated part are performed calculations of the balance of mill circuit and calculations of consumption of coal dust. Part of the calculation is a design technical solution for adjustments storage tanks of coal dust, design type and number of pumps. In conclusion, the technical - economic evaluation of the benefits of reconstruction is performed.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
0. Úvod.....	11
1. Popis stávající technologie kotelny TKV	12
1.1. Technický popis zařízení	12
1.2. Technologie zauhlování a zásobníky surového uhlí.....	13
1.3. Mlecí okruh kotlů – mlýny, třídiče, zásobníky prášku	17
1.4. Spalovací zařízení, odstruskovací a odpopílkovací zařízení	19
2. Výbušnost a samovznícení uhelného prášku	25
3. Přehled možných variant monitorování zásobníků uhelného prášku a snížení skladovací teploty	30
3.1. Monitorování hladiny prášku v zásobnících uhelného prášku	30
3.2. Monitorování teploty v zásobnících uhelného prášku	31
3.3. Monitorování oxidu uhelnatého v zásobnících uhelného prášku	31
4. Bilanční výpočty mlýnice a spotřeby uhelného prášku pro kotle TKV	34
4.1. Rovnice tepelné bilance mlýna.....	34
4.2. Měrné teplo sušících spalin	35
4.3. Měrné teplo vstupního surového paliva.....	43
4.4. Měrné teplo vzniklé částečnou přeměnou mlecí práce ve mlýně.....	45
4.5. Měrné teplo pro odpaření vody z paliva	45
4.6. Měrné teplo vázané ve spalinách za mlýnem	46
4.7. Měrné teplo uhelného prášku na výstupu ze mlýna	48
4.8. Tepelné ztráty mlecího okruhu	49
4.9. Spotřeba uhelného prášku.....	50
5. Výběr a popis technického řešení úprav pro kotle TKV	53
5.1. Havarijní výpusť ze zásobníku – čajník	53

5.2. Výpočet množství vody určené k havarijnímu vyprázdnění zásobníku uhelného prášku	54
5.3. Výpočet tlakové ztráty	56
5.4. Návrh čerpadla.....	58
5.5. Jednotlivé části navrhovaného zařízení	65
5.6. Uvedení zařízení do provozu	69
6. Technicko-ekonomické zhodnocení přínosu rekonstrukce.....	72
7. Závěr	75
8. Seznam použitých pramenů	77
9. Seznam Příloh	77

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Veličina	Rozměr
A	Obsah popelovin ve spalovaném palivu	kg/kg, %
C	Obsah uhlíku ve spalovaném palivu	kg/kg, %
C	Koncentrace	kg/m ³
D	Vnitřní průměr	mm
CO	Oxid uhelnatý	
H	Obsah vodíku ve spalovaném palivu	kg/kg, %
L	Délka	m
N	Obsah dusíku ve spalovaném palivu	kg/kg, %
O	Objem vzduchu nebo spalín	kg/m ³ _n
O ₂	Obsah kyslíku ve spalovaném palivu	kg/kg, %
Q	Objemový průtok	m ³ /h
Q	Teplo, energie	kJ, MJ
Q _i ^r	Výhřevnost paliva	kJ/kg
Re	Reynoldsovo číslo	
S	Plocha, průřez	m ²
S	Obsah síry ve spalovaném palivu	kg/kg, %
V	Objem	m ³
V ^{daf}	Obsah prchavé hořlaviny ve spalovaném palivu	kg/kg, %
W	Obsah vody ve spalovaném palivu, zbytkový obsah vody na výstupu z mlýna	kg/kg, %
Y	Celková dopravní výška čerpadla	J/kg
c	Měrná tepelná kapacita	kJ/kg·K, kJ/kg·°C
d	Měrná vlhkost	kg _{H₂O} /kg
d	Ekvivalentní průměr zrna	mm
e	Energie částice	J/kg
g	Gravitační zrychlení	m/s ²
h	Obsah hořlaviny v palivu	kg/kg, %
h	Výška	m

Značka	Veličina	Rozměr
i	Entalpie	kJ/kg
k	Podíl přeměny mlecí práce na teplo	
m	Hmotnost	kg
\dot{m}	Hmotnostní tok	kg/s
p	Tlak	kPa, MPa
q	Měrné teplo	kJ/kg
T	Teplota	°C, K
w	Rychlost	m/s
x	Hmotnostní podíl složky	%
y	Měrný hmotnostní průtok	kg/kg
Řecká abeceda		
α	Přebytek vzduchu	
Δ	Rozdíl (teplot, entalpií, tlaků...)	
ε	Měrná mlecí práce	kWh/t
ζ	Ztrátový součinitel, součinitel pro místní ztráty	
η	Účinnost	
κ	Součinitel naplnění zásobníku	
λ	Součinitel tření	
μ	Poměrná spotřeba vody ke splavování uhelného prášku	kg/kg
ν	Součinitel zvětšení objemu vlivem vlhkosti	
ξ	Ztráta sdílení tepla do okolí	
ρ	Hustota	kg/m ³
ν	Kinematická viskozita	m ² /s
φ	Relativní vlhkost	
ω	Objemový podíl složky ve směsi plynů	m ³ /m ³
Význam použitých indexů		
a	Analytický	
ap	Admisní pára	
CO ₂	Oxid uhličitý	
ČU	Černé uhlí	
h	Hořlavina	

Značka	Veličina	Rozměr
H ₂ O	Voda	
HU	Hnědé uhlí	
i	Složka směsi	
k	Kotel	
m	Mlecí, vzniklé při mletí	
max	Maximální, nejvyšší	
min	Minimální, nejnižší, teoretický	
ML	Mlýnský, za mlýnem	
n	Normální podmínky ($t_n = 0^\circ\text{C}$, $p_n = 101,325 \text{ kPa}$)	
nv	Napájecí voda	
O ₂	Kyslík	
p	Pára	
PAL	Palivo, přivedeno palivem	
PS	Spaliny suché	
PV	Spaliny vlhké	
r	Palivo v surovém stavu	
s	Sdílení tepla do okolí, sací	
sk	Skutečný	
sm	Směs	
SO ₂	Oxid siřičitý	
UP	Uhelný prášek	
v	Voda, výtlačné	
VS	Vzduch suchý	
VV	Vzduch vlhký	
vyr	Vyrobené, výrobní	
w	Voda v palivu	
z	Ztráty	
zm	Ztráta místními odpory	
zt	Ztráta třením	
ZUP	Zásobník uhelného prášku	

0. Úvod

Cílem diplomové práce je zpracování návrhu zařízení k havarijnímu odvodu uhelného prášku ze zásobníků u kotlů K1-K4 v Teplárně Karviná.

Při odstavování kotle z provozu by mělo dojít k úplnému vyprázdnění zásobníku uhelného prášku. Pokud není možné do 48 hod. kotel uvést zpět do provozu a zároveň nedošlo k vyprázdnění ZUP, je nutné zásobník inertizovat nebo havarijně vyprázdnit.

Uhelný prášek, který je nahromaděn v ZUP déle než 48 hod., se začíná pomalu okysličovat vzduchem, ten se dostává přes komůrkové podavače do výsypek ZUP. Následkem oxidace dochází k pozvolnému samozahřívání uhelného prášku (samovznícení), zvyšování teploty a zvyšování koncentrace oxidu uhelnatého. Směs vzduchu a CO tvoří výbušnou směs, takže by mohlo dojít k poškození zařízení a ohrožení zdraví zaměstnanců.

1. Popis stávající technologie kotelny TKV

1.1. Technický popis zařízení

Na Teplárně Karviná (TKV) je palivo (černý prach, granulované kaly a biomasa) spalováno v kotlích K1, K2, K3 a K4. Jedná se o kotle sálavé, strmotrubnaté s granulační komorou. [1]

Jmenovitý výkon kotle.....	85 t/hod. ... 62 MW
Nejvyšší přetlak přehřáté páry	7,6 MPa
Pracovní přetlak přehřáté páry	7,45 MPa
Nejvyšší pracovní teplota přehřáté páry	485 – 495 °C
Pracovní teplota napájecí vody	180 °C
Výkon kouřového ventilátoru K1,2,3	185 000 m ³ /h
Výkon kouřového ventilátoru K4	240 000 m ³ /h
Výkon mlýna	20 t/h
Výkon sekundárního ventilátoru	55 200 m _N ³ /h
Výhřevná plocha ohříváku vzduchu	3 700 m ²
Výhřevná plocha přehříváku I. stupně	170 m ²
Výhřevná plocha přehříváku II. stupně	350 m ²
Výhřevná plocha ohříváku vody	1 450 m ²
Podtlak ve spalovací komoře	20 – 50 Pa
Kouřový ventilátor	400 kW 6 kV 47,7 A 990 ot/min
Sekundární ventilátor	200 kW 6 kV 23,5 A 1484 ot/min
Mlýnský ventilátor	200 kW 6 kV 24 A 1487 ot/min
Trubnatý mlýn	320 kW 6 kV 38,5 A 990 ot/min

[1]

1.2. Technologie zauhlování a zásobníky surového uhlí

Zauhlování zabezpečuje manipulaci s palivem, kterým je v podmínkách TKV: černý prach, kaly a biomasa. Jedná se hlavně o vykládku paliva dodávaného v železničních vagónech, jeho uskladnění na skládce, hnutí a transportování do hlubinných zásobníků během provozu. Biomasa je dopravována ve velkoprostorových nakládacích autech. [2]

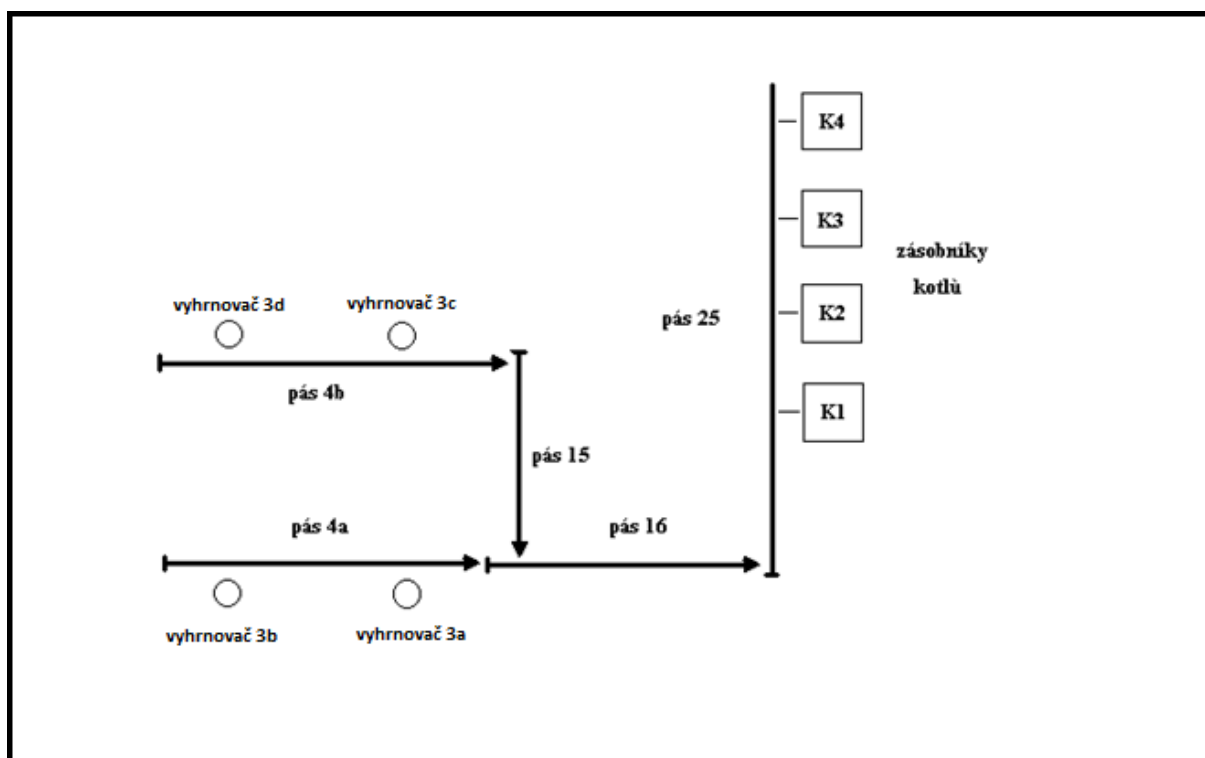
Vykládka paliva z vagónů probíhá na vykládacím mostě, což je železobetonová konstrukce s 9 ti podjezdy pro buldozery a nakládače, které vyhrnují uhlí na skládku. Uprostřed je kolejiště, po jehož obou stranách jsou propadové rošty. Ze skládky je palivo nahrnováno do **štěrbinového hlubinného zásobníku**. Jedná se o železobetonovou konstrukci středově rozdělenou příčkami, aby bylo možno míchat druhy uhlí. Je konstruována tak, aby bylo možno současně vykládat uhlí z vagónů i hrnout ze skládky. Celý štěrbínový zásobník je zakryt propadovým roštem.

Pod hlubinným zásobníkem jsou umístěny vyhrnovací vozíky. Ramena vyhrnovačů zasahují nad pulty štěrbín, ze kterých shrnují palivo do násypek, umístěných na rámu vyhrnovacího vozíku. Tyto štěrbiny jsou zakryty deskami, které se při průjezdu vyhrnovacího vozíku automaticky otevírají a uzavírají. Násypkou padá uhlí na dopravní pásy čís. 4a, 4b.

Pod hlubinným zásobníkem skládky D je umístěn vyhrnovací vozík 3d. Slouží k vyhrnování biomasy. Ramena vyhrnovače zasahují nad pult štěrbiny, ze které shrnují biomasu do násypek, umístěných na rámu vyhrnovacího vozíku. Násypkou padá biomasa na dopravní pás čís. 4b. Významným příslušenstvím vyhrnovacího vozíku je systém skrápění, aby byl redukován únik poléťavého prachu mimo dopravní trasu.

K další dopravě uhlí se používá soustavy gumových **dopravních pásů**. Pomocí pásů čís. 4a, 4b, na které je uhlí vyhrnováno z hlubinného zásobníku vyhrnovacími vozíky, je uhlí dopravováno buď přímo na pás č. 16 (z pásu č. 4a) a z pásu č. 4b přes pás č. 15 je dále dopravováno na pás č. 16. Pás č. 16 je umístěn na šikmém mostě a je hlavním zauhlovacím pásem zauhlování. Dopravuje uhlí na vodorovný pás čís. 25, který je umístěn nad zásobníky surového uhlí v kotelně. Gumový pás tvoří několik (4-7) vložek z bavlněné nebo silonové tkaniny, mezi sebou spojených gumovou vrstvou. Dle počtu a síly vložek a pevnosti tkaniny je stanovena pevnost pásu. Je opásán okolo dvou koncových bubnů, z nichž jeden je poháněný, druhý napínací (nebo převáděcí). Mezi oběma válci jsou umístěny na ocelové konstrukci po celé délce podpěrné válečky, po kterých se pás posouvá. Proti ujetí pásu

do strany jsou umístěny po stranách pásu vodící válečky usazené na stolici, které pás samočinně vyrovnávají. Na pásu čís. 25 jsou nad zásobníky kotlů umístěny **stírače uhlí**, které slouží k shrnování uhlí z pásu čís. 25 do zásobníků. Stírače jsou železné konstrukce se zajištěním pohybu nahoru a dolů. V místě dotyku s pásem čís. 25 jsou opatřeny gumovou pásovinou. Ovládání pohybu stírače zajišťuje vzduchový siloválec, který je řízen obsluhou. Každý pás je opatřen nouzovými tlačítky a bezpečnostními lanky, které vypínají všechny pásy, jež jsou v provozu. Pohon jednotlivých pásů je blokován tak, že se uvede do provozu jako první pás čís. 25 a teprve pak postupně další pásy směrem proti dopravě uhlí.



Obr. 1-1 Zjednodušené schéma zauhlování na TKV [1]

Při vypadnutí nebo vypnutí některého pásu v dopravní cestě se automaticky zastaví všechny předcházející pásy směrem k začátku dopravy uhlí. Proti zpětnému chodu jsou pásy pojištěny brzdou. Při zauhlování dle nové technologie Míchacího centra biomasy se používá poslední dopravní cesta: vyhrnovače 3a, 3b, 3c, 3d, pásy 4a, 4b, 15, 16, 25. Zauhlovací trasa je znázorněna na *Obr. 1-1 Zjednodušené schéma zauhlování na TKV*.

K vážení dodaného uhlí do kotelny slouží **šikmá automatická váha**. Je zamontována do pásu čís. 16 včetně železné konstrukce se sklopným odvažovacím aparátem, olejovými tlumiči, jež brzdí výkyvy vahadla a počítadlem, registrujícím množství prošlého uhlí. Vše

je v plechové skříni utěsněno proti vnikání prachu, uspořádané a zasklené tak, aby se počítadlo mohlo odečítat bez otevření skříně. Ručička ukazuje okamžitý hodinový výkon váhy v tunách.

Nad pásem č. 16 je umístěn a uchycen na pojízdném kladkostroji **elektromagnetický odlučovač železa K 21**, který slouží k odloučení železných materiálů z dopravovaného paliva. Jedná se o zařízení tvaru podkovy, v dolní části s dvěma nosníky tvořící nástavce, na které se působením magnetického pole přichytávají feromagnetické materiály.

K automatickému odebrání jednotlivých dílčích vzorků vzorkovaného uhlí dle nastaveného časového intervalu z pásové dopravy do zpracovatelské linky vzorkovače se používá kladivový odběr. Odběr provádí rotující kladivo, usazené v kotouči s hřídelí, které je poháněno elektricky ovládanou převodovkou. K odebírání dílčího vzorku uhlí až na povrch pásu slouží pryžová stěrka, připevněná na zadní stěnu kladiva. Hřídel kladiva je uložena ve valivých kuželíkových ložiskách, které jsou součástí elektricky ovládané převodovky. Šířka vstupní štěrby kladiva je 90 mm, rychlost při průchodu palivem je konstantní. Do pohybu se uvádí na signál z automatiky ovládání ve vnuceném časovém cyklu nebo ručně; po proběhnutí dráhy a vyhrnutí dílčího vzorku do výsypky se zastaví na signál prvního indukčního snímače v dané výchozí poloze (cca 45% před horní úvratí – svislé osy). K zastínění indukčního snímače slouží stavitelná clona, která je svěrným způsobem připevněna k hřídeli kladiva. Při nenajetí kladiva do výchozí polohy (indukční snímač je nezacloněn) se automaticky vypne chod pásové dopravy (hrozí nebezpečí závalu při poloze kladiva nad pásem). Kladivový odběr je v prostoru vlastního odběru dílčího vzorku opatřen skříni s odnímatelným víkem, která zamezuje rozhazování uhlí během odběru po okolí a chrání přístup osob k rotujícímu kladivu. Výsypka odběru je opatřena příčným pryžovým těsněním pásu. K nosné konstrukci jsou připevněny boční kryty s výškově stavitelnou těsnicí pryží, které usměrňují tok vzorkovaného materiálu na dopravním páse před vstupem pod rotující kladivo a zabráňují případnému vyhazování tohoto materiálu ven z pásu. Kladivový odběr je opatřen ultrazvukovým čidlem, které hlídá požadovanou vrstvu paliva, která je na páse.

Vzorkovací linka je umístěna cca 2 m od přesypu dopravníku na kotě 22,5 m v kotelně nad zásobníky. Jedná se o průtlačný vzorkovač z pásu, typ AVP 800, výrobce VVUÚ Radvanice. Vzorkovač je konstruován na zrnitost dodávaného paliva 0-10 mm s výskytem kusů až 200 mm. Linka pracuje automaticky a je ovládána reléovým systémem

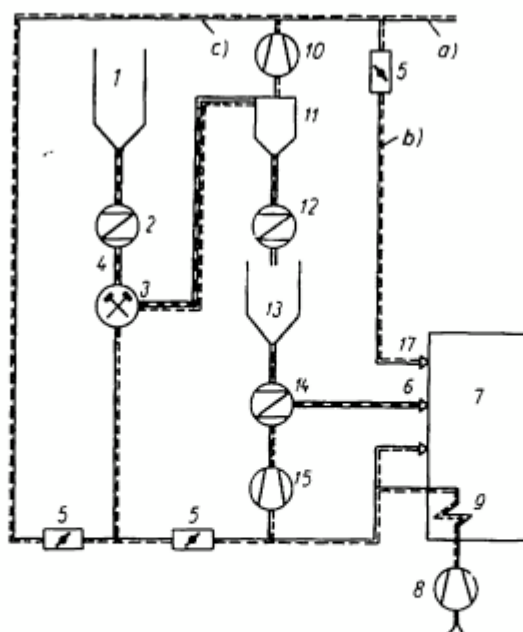
z ovládací skříně. Po obdržení impulsu vyrovná zvedací zařízení hlavní dopravní pás pneumaticky a následně proletí proudem uhlí vzorkovací lopatka vzorkovače (šířky 190 mm) a shrne dílčí vzorek z povrchu pásu do výsypky. Výsypka je opatřena krátkým skluzem, opatřeným roštem pro odvod zrna nad 30 mm. Dílčí vzorek postupuje dále na rotační dělič pro lepidlé materiály typ RDH 1-K s dělicím poměrem činí 1:7. Vydělený vzorek je následně shromažďován ve sběrné nádobě, která je opatřena víkem pro zamezení ztráty obsahu vody ve vzorkovaném palivu.

Surové uhlí je ze zauhlování dopravováno do **zásobníku surového uhlí** (obsah cca 250 tun) soustavou pásových dopravníků za pomoci vzduchem ovládaných stíracích pluhů přes násypné rošty. V násypných roštích jsou umístěny vstupní otvory do zásobníků. Zásobník je železobetonová konstrukce, která má vnitřní stěny opatřeny vestavbou z materiálu zamezujícímu nalepování paliva. Ústí zásobníku tvoří dvě svodky, na každé je deskový uzávěr. Tyto svodky jsou napojeny na redler. Nad ústím zásobníku je zabudován tzv. pasivní prvek, který usměrňuje tlak vrstvy uhlí a tím zabraňuje jeho váznutí ve výstupním otvoru zásobníku. Na všech stěnách jsou umístěny vzduchové tzv. odstřelovací ventily (krytí elektromagnetického ventilu, odstřelovacího ventilu - děla IP 65), které slouží k uvolnění případně nalepeného uhlí tlakem vzduchu a jsou ovládány z operátorského stanoviště kotlů z PC. Zásobníky jsou umístěny v provozní budově na kótě 22,5 m. Spodní část zásobníku, sahající na kótu 8,5m, má tvar obráceného jehlanu a jeho výstupy jsou opatřeny deskovými uzávěry ovládanými z PC daného kotle. V této části jsou instalovány ofukovací vzduchové trysky pro uvolňování paliva.

Pod zásobníkem surového uhlí je umístěn **podavač surového uhlí** (redler). Jedná se o zařízení, které slouží k dopravě surového uhlí do šnekového dopravníku tvaru „U“, umístěného pod tímto podavačem, a následně pak uhlí padá svodkou a potrubím do trubnatého mlýna. [2]

1.3. Mlecí okruh kotlů – mlýny, třídiče, zásobníky prášku

Na TKV probíhá příprava a sušení paliva v mlýnském okruhu s práškovými zásobníky. Výhodou tohoto mlecího okruhu je menší měrná mlecí práce, jelikož lze mlýny provozovat při jejich optimálním výkonu bez ohledu na výkon kotle. Regulovatelnost výkonu kotle je ovlivněna pouze dynamickými vlastnostmi komůrkových podavačů a práškovodů. Nedostatky mlecích okruhů s práškovým zásobníkem spočívají ve větší komplikovanosti zařízení, větším obestaveném prostoru a vyšších investičních nákladech.



a — otevřený, b — s brýdovými hořáky, c — uzavřený.

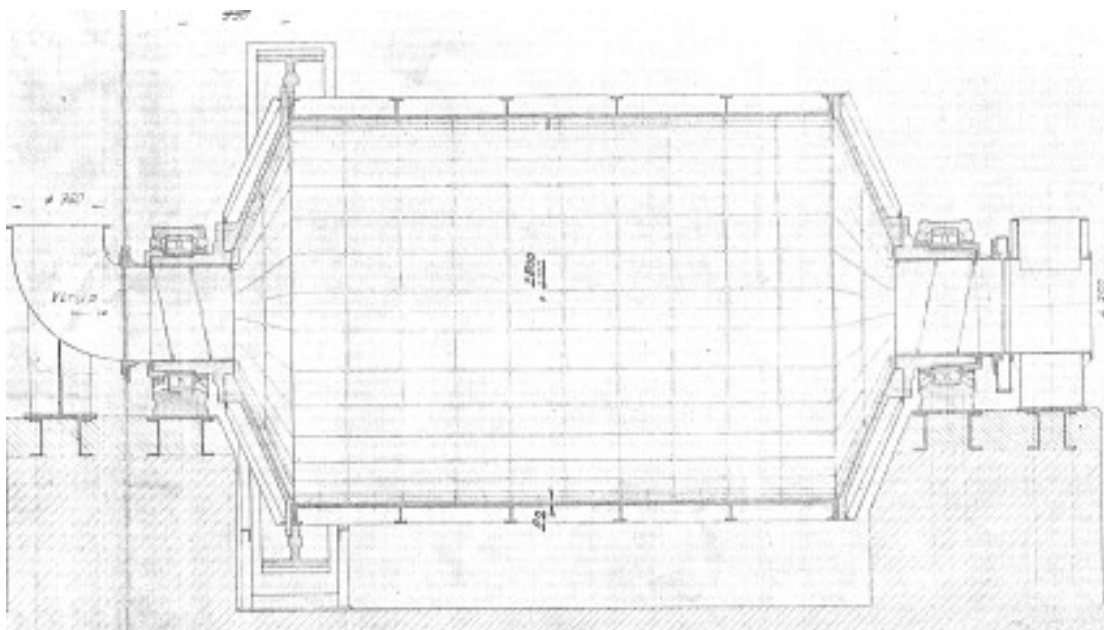
1 — zásobník surového uhlí, 2 — podavač surového uhlí, 3 — mlýn, 4 — suška, 5 — regulační klapka, 6 — hořáky, 7 — ohniště, 8 — vzduchový ventilátor, 9 — ohřívák vzduchu, 10 — brýdový (mlýnský) ventilátor, 11 — odlučovák prášku, 12 — turniketový uzávěr, 13 — práškový zásobník, 14 — práškový podavač a směšovací kus, 15 — ventilátor primárního vzduchu, 16 — druhý stupeň odlučováku, 17 — brýdové hořáky

Obr. 1-2 Schéma mlecího okruhu s práškovým zásobníkem (s mezibunkrováním) [5]

Na úrovni +0,0 m jsou umístěny mlýny č. 1–4, které jsou obsluhovány ze stanoviště topiče. Pro přípravu paliva, resp. požadované jemnosti mletí, je používán **trubnatý mlýn** o projektovaném výkonu 25 t/hod. Skutečný výkon mlýna se pohybuje dle bilancí 18–20 t/hod při jemnosti mletí cca 20% zbytku na síť 0,09 mm. Nosným a sušicím médiem

v mlýnském okruhu jsou kouřové plyny míchané se studeným vzduchem o $t = 260\text{--}290\text{ }^{\circ}\text{C}$ při najíždění mlýna, při provozu je teplota kolem $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

K mletí uhlí dochází dynamickým účinkem rázu kovových mlecích elementů (nejčastěji ocelových koulí) opakovaně vynášených otáčejícím se bubnem a padajících po parabolické dráze na vrstvu paliva, a také tlakem a otěrem při vrtivém valení mlecích elementů na povrchu i uvnitř vrstvy. Tvar hladiny směsi uhlí a mlecích elementů i dráha jejich pádu závisí hlavně na otáčkách $n\text{ (min}^{-1}\text{)}$, poměrném zaplnění bubnu koulemi a uhlím φ_s , na sypaném úhlu uhlí α_s a na součiniteli tření f při pohybu mlecích elementů po vnitřním povrchu bubnu, tj. na tvaru pancéřování (pancíř hladký, stupňový, vlnitý).



Obr. 1-3 Trubnatý mlýn

Směs uhelného prášku na výstupu z mlýna je unášena a zároveň sušena nosným médiem do **třídíče**, kde se oddělí hrubší frakce od jemných (dle požadované jemnosti mletí), ty se znovu přivádějí do mlýna skluzným potrubím, kde se dále suší a melou na prášek, který je nosným médiem unášen opět do třídíče. Tento proces se opakuje tak dlouho, dokud není dosaženo požadované jemnosti prášku.

Uhelný prášek, který prošel třídíčem spolu se sušícím médiem, přichází do **cyklónů**, kde dochází k odlučování uhelného prášku (jeho odstředění od nosného média). Oddělování částecek je prováděno prostřednictvím odstředivé a gravitační síly, kdy odloučený prášek padá přes turnikety do zásobníku prášku. Je zde umístěn rozdělovací mezikus „tzv. kalhoty“,

který podle nastavení směrové klapky směruje prášek do šnekového dopravníku. Nosné médium, včetně neodloučených částeczek paliva – tzv. brýdy, je vedeno potrubím do sání mlýnského ventilátoru a dále dopravováno jednak primárním potrubím do práškových hořáků spolu s uhelným práškem přes svodky a taktéž brýdovým potrubím do hořáků brýdových. [3]

Zásobníky uhelného prášku jsou umístěny na kótě 17,5 m. Uhlý prášek se přivádí z mlýnů potrubím uzavřeného mlýnského okruhu přes třídiče, cyklóny a turniketové uzávěry. Celkový objem zásobníků je cca 30 m³. Zásobníky uhelného prášku všech kotlů jsou umístěny v řadě za sebou. Nad zásobníky všech kotlů je umístěn příčný šnek pro možnost dopravy paliva k sousedním kotlům. Konstrukce zásobníků je železobetonová. Uhlý prášek ze zásobníků se do kotle přivádí přes komůrkové podavače, umístěné na kótě 8,5 m do práškovodů k hořákům. Každý zásobník je opatřen vstupním otvorem **s uzamykatelným víkem** a výdušným potrubím na střešku, v němž je umístěna membrána. U každého zásobníku je instalováno měření hladiny prášku, měření teploty, přívod z hasící CO₂ baterie a 5 ks akčních prvků ochranného systému ANTIDET, který slouží k potlačení výbuchu uvnitř uzavřených zařízení. [3]

Mlýnský ventilátor slouží k vytvoření proudění sušícího a nosného média při provozu mlýnského okruhu (tzv. velký okruh), včetně dopravy brýd do kotle a k dopravě uhelného prášku přes mísící ejektory uhelného prášku, a práškovody do primárních hořáků umístěných v rozích kotle. Při odstaveném mlýně slouží ventilátor pro dopravu uhelného prášku v primární směsi do kotle.

K vytvoření tzv. primární směsi slouží **ejektor uhelného prášku** (4 ks). Nosné médium z výtaku mlýnského ventilátoru strhává, resp. odsává uhlý prášek dávkovaný komůrkovými podavači prášku do svodek vstupujících do ejektoru. Vzniklá směs je unášena primárními **práškovody** (výtlakové potrubí) do čtyř práškových hořáků na kotli. [4]

1.4. Spalovací zařízení, odstruskovací a odpopílkovací zařízení

Kotle K1, K2, K4 jsou opatřeny čtyřmi rohovými hořáky. Každý hořák má jednu sekci (horní). Horní prášková sekce je skloněna od vodorovné roviny asi 7 stupňů. K rohovým hořákům přísluší i kanály sekundárního vzduchu s regulačními klapkami a sekundární vzduch pro velké plynové hořáky. Spotřeba přídavného plynu je 100/450 m³_N/hod při tlaku 8 kPa.

Brýdové hořáky jsou umístěny na kótě 12,5m. Jsou to čelní vířivé hořáky. Kotel je vybaven tlakovzdušnou automatikou spalování. Automatická regulace přívodu paliva je závislá na výkonových a tlakových poměrech kotle (pomocí systému kontroly a řízení).

Kotel K3 je v současné době po rekonstrukci a probíhá zkušební provoz.

Na Teplárně Karviná je spalováno následující palivo:

- Energetický prach 0-20 mm – Důl Darkov
- Černouhelný granulát
- Biomasa (obilný šrot a dřevní piliny)

Cirkulační okruhy kotle

Kotle K1, K2, K3, K4 jsou konstruovány jako sálavé, strmotrubnaté s granulační komorou. Jsou tvořeny membránovými stěnami, velkým a malým bubnem. Jedná se o kotle s přirozenou cirkulací. Buben umožňuje vytvořit zásoby vody v kotli a odběr odluhu. Odděluje vodu od páry a spojuje 3 části tlakovodního systému (ekonomizér, výparník a přehřívák). Zajišťuje recirkulaci vody ve varnicích (varných trubkách).

Všechny cirkulační okruhy varných trubek jsou samostatné a jsou tvořeny jednotlivými stěnami spalovací komory. Ze tří odkalovacích komor každé stěny je vyvedeno 49 varných trubek rozměru 70/5 mm/mm. Trubky přední stěny tvoří tzv. velký strop spalovací komory a strop prostoru, ve kterém je umístěn první stupeň přehříváku. Odtud jsou vedeny do odlučovacího bubnu. Trubky zadní stěny tvoří tzv. malý strop spalovací komory a prachovou mříž na výstupu spalin z ohniště před prvním stupněm přehříváku.

Cirkulační okruhy obou bočních stěn jsou podobné. Čtrnáct trubek stěny ústí do malé cirkulační komory (malý registr), umístěné ve výši 14 m nad spodními (odkalovacími) komorami. Z této cirkulační komory vychází 3 recirkulační trubky, jež ústí do odkalovacích komor bočních stěn. Zbývající stoupající trubky ústí do velké recirkulační komory (velký registr), umístěné 17,3 m nad spodní komorou. Z této recirkulační komory je vyvedeno 6 trubek do odkalovací komory. Z malé recirkulační komory je vedeno 5 vyváděcích trubek

do odlučovacího bubnu. Z velké recirkulační komory je vedeno 12 trubek rovněž do odlučovacího bubnu. Osa odlučovacího bubnu je ve výši 20,15 m nad spodními komorami.

Pára z odlučovacího bubnu vychází parními spojovacími trubkami, voda vodními spojovacími trubkami do hlavního bubnu kotle. Odkalovací komory přední a zadní stěny jsou zavodněny 18 ti spádovými trubkami a boční komory 9 ti spádovými trubkami z hlavního bubnu.

Přehřívač páry - regulace přehřátí

Pára je vedena z hlavního bubnu kotle výstupními trubkami do prvního stupně přehříváku o výhřevné ploše 170 m², který je umístěn mezi prvním a druhým tahem za prachovou mříží na výstupu spalin z ohniště, kde teplota spalin je cca 900 - 1000 °C. Z tohoto přehříváku je pára vedena přes druhý stupeň přehříváku o výhřevné ploše 350 m² na třetí stupeň.

Z třetího stupně přehříváku proudí pára přes výstupní ventil do centrálního rozvodu ostré páry (ROP). Regulace teploty přehřátí páry je dvoustupňová. V I. stupni je prováděn zástřik kondenzátem do komory č. 2, který je regulován pomocí regulačního ventilu. Mezi druhým a třetím stupněm přehříváku je zařazen chladič páry se vstřikovou regulací. Regulace teploty výstupní páry je prováděna regulačním ventilem. Celkové množství zástřiku bylo projektováno na 5 % výkonu kotle.¹

Ohřívák napájecí vody, napájení a jeho regulace

Kotel je vybaven dvoudílným ohřívákem vody o výhřevné ploše 1 450 m² a je umístěn ve druhém tahu kotle, za třetím stupněm přehříváku páry. Regulace napájení je automatická s elektronickým regulátorem pomocí systému kontroly a měření.

Odkal a odluh kotle

Odkal - část kotelní vody, opakovaně odpouštěné z tlakového systému kotle za účelem odstranění vznikajících kalů, event. dosažení předepsaného složení kotelní vody. Odkalování

¹ Skutečné množství je vyšší a pohybuje se v mezích 5 - 10 %.

se provádí z dolních komor trubkami 30 mm. Z každé komory je vyvedena jedna trubka, opatřená armaturou a svedena do sběrného potrubí a dále do beztlakového expanderu.

Odluh - část kotelní vody, nepřetržitě odpouštěné při trvalém provozu z tlakového systému kotle, za účelem dosažení stanoveného složení (koncentrace) kotelní vody. Odluhování se provádí dvěma trubkami procházejícími oběma čely hlavního kotlového bubnu. Tyto trubky zasahují asi 1 m do napájecího systému bubnu ve výši asi 30 cm nad dnem bubnu. Množství odluhu se reguluje ventilem v odluhovacím potrubí. Odluh kotle slouží zároveň pro vzorkování kotelní vody.

Pro využití odpadního tepla odluhu jsou v prostoru kondenzace umístěny dva stojaté výměníky, kterými se ohřívá surová voda pro chemickou úpravnu vody (CHÚV). Zkondenzovaný odluh je pak odváděn do beztlaké ležaté nádrže odluhu o objemu 2m³.

Po najetí kotle je odluh odváděn po dobu 24 hodin na beztlaký expander, který se nachází v prostoru mlýnice u mlýna K1 a ten je pak sveden do horkovodní jímky u výtahové věže. Po uplynutí této doby je již předpokládán stabilizovaný chemický režim kotle a odluh je následně převeden na výměníky tepla.

Regulace alkality kotelní vody se provádí v mimořádných případech dávkováním trinatriumfosfátu (fosforečnan sodný Na₃PO₄) do vstupní komory ekonomizéru.

Chemický režim parovodního okruhu je nyní založen na dávkování přípravku Nalco 1801. Jedná se o směs alkalizačních aminů a deoxygenačního prostředku. Účelem tohoto produktu je odstranění zbytkového kyslíku z odplyněné napájecí vody a alkalizace napájecí vody, kotelní vody, par a kondenzátů. Dávkuje se do napájecí vody.

Zařízení pro předebrání a dopravu vzduchu

Pro ohřev spalovacího vzduchu pomocí spalín se používá ohřívák vzduchu, který je zároveň i poslední teplosměnnou plochou v kotli. Vzduch je dopravován dvěma radiálními ventilátory, každý o výkonu 55 200 m³_N/hod., umístěnými po obou stranách kotle - na kótě 27 m.

Regulace množství se provádí škrticími klapkami na výtlaku ventilátoru vzduchu. Ohřívák vzduchu je čtyřdílný, kapsový o výhřevné ploše 3 700 m². Je umístěn v druhém tahu kotle za ekonomizérem ve směru toku spalín před vstupem spalín do **odlučovače popílku (filtru)** kotle.

Na K4 je obvykle v provozu jeden sekundární ventilátor. Ve výjimečných provozních situacích a v závislosti na tvorbě emisních limitů je možno uvést do provozu druhý sekundární ventilátor. Na K1, K2, K3 jsou v provozu oba sekundární ventilátory z důvodů provozování výměníku, které ohřívají vratnou oběhovou vodu VS (výměníkové stanice). Oba sekundární ventilátory musí být otevřeny na 100%, tvorba emisních limitů se reguluje sekundárními a terciálními klapkami.

Provozní parametry filtru pro K1, K2, K3

Množství čištěných spalin	230 000 m ³ /hod při 230°C, 98 kPa
Provozní teplota.....	do 230 °C
Maximální teplota.....	250 °C (max. ½ hod.)
Obsah spalitelných látek.....	4,8 % max
Maximální obsah O ₂	10 %
Palivo (černé uhlí)	$Q_i^r = 22 \text{ MJ/kg}$
	$W_t^r = 10\%$
	$A^r = 30\%$
	$S_t^r = 0,8\%$
Stabilizační palivo	Zemní plyn z důlní degazace
Obsah prachu na vstupu.....	max. 20 g/m ³
Granulometrie částic.....	3% nad velikost částic 0,16 mm
	5,2% pod velikost částic 0,004 mm
Složení spalin při 6% O ₂	1500 mg/m _N ³ SO ₂ ,
	600 mg/m _N ³ NO _x
Tlak spalin před filtrem	500 Pa pod atmosférickým tlakem

Odstruskovací a odpopílkovací zařízení

Struska zachycená ve spalovací komoře přichází z výsypky do drtiče. Po rozdrčení a zchladnutí je pomocí vynášече a dopravních pásů dopravována do kontejnerů. Popílek ze zadních tahů je zachycen ve výsypkách, odkud je následovně přes turniketové podavače dopravován do spodní části spalovací komory až do výsypky drtiče a spolu se struskou je vynášen do kontejnerů.

Další vybavení kotle

Kotel je vybaven zákonem stanovenou armaturou a měřícími přístroji. Na hlavním bubnu je umístěn 1 ks pojistného ventilu s přídavným zařízením Typ SIZ - 1508, řídicí skříň SIZ 5320, velikost ventilu = Js 65 x 100, výkon 57 t/hod., otevírací tlak ventilu 7,85 MPa.

Druhý pojistný ventil je na potrubí u komory číslo 6 téhož typu i výkonu otevíracího tlaku 7,55 MPa. Na levé straně hl. bubnu je umístěn jeden přímý vodoznak. Dále je kotel vybaven elektronickým měřením hladiny pomocí SKŘ (systém kontroly a řízení). Pro trvalé sledování hladiny v bubnu jsou na kotlích namontovány průmyslové kamery, namířené na přímé stavoznaky. Obrazovky jsou umístěny na stanovištích topičů na tepelném velínu.

Na kouřovodech všech kotlů v prostoru mezi kotlem a filtrem jsou umístěny explozní klapky, zabráňující přetlaku ve spalovací komoře.

2. Výbušnost a samovznícení uhelného prášku

Výbušnost je schopnost rozšířit velkou rychlostí (řádově 10^3 m/s) na celý objem práškového mraku spalování, které bylo vyvoláno jen v určitém místě buď cizím zdrojem, nebo samovznícením. S frontou plamene postupuje tlaková vlna, takže v uzavřeném prostoru může tlak stoupnout místně až na 1 MPa. Je proto nezbytné buď mlecí zařízení na tento tlak dimenzovat, nebo jej zajistit pojistnými membránami či explozními klapkami, které se při výbuchu otevrou do volného prostoru a nedovolí, aby tlak stoupl v mlecím okruhu nad určitou hodnotu a tak nedošlo k poškození zařízení o velkých průměrech. V otevřeném prostoru působí tlaková vlna jen nízkým přetlakem, takže dochází k poškození jen tenkých a rozměrných stěn, za to silně rozvíří uhlý prášek, což se projeví velkou frontou plamene a nebezpečím popálení obsluhy.

Mlecí okruh je vybaven 5 ks akčních prvků ochranného systému ANTIDET a pojistnými membránami. Membrána omezuje výbuchový tlak p_{\max} tím, že při statickém otevíracím tlaku p_{stat} otevírá celý svůj průřez a uvolní nespálenou směs a produkty hoření vně chráněného objektu. Vhodně zvoleným pojistným zařízením se odlehčí tlak výbuchu do volného prostoru tak, aby redukovaný (snížený) tlak uvnitř zařízení nepřekročil dovolenou odolnost zařízení proti tlakovému rázu při výbuchu.

Tepelným samovznícením se nazývá proces hoření, při kterém je zdrojem energie samozahřívání látek, rychlost uvolňování tepla v důsledku oxidace převyšuje rychlost odvádění tepla. Samovznícení uhlí je způsobeno adsorbci plynů a par, okysličováním uhlé masy a oxidací sulfidů železa obsažených v uhlí. K samovznícení je více náchylné uhlí geologicky mladé, tj. hnědé, brikety z hnědého uhlí, lignit, rašelina. Samovznícování uhlí bude také ovlivňovat jeho chemické složení. Nejnebezpečnější jsou velké hromady netříděných drcených druhů uhlí, kde v okolí svislé osy hromady vzniká hutné jádro z prachových částic, zatímco hrubé zrno a větší kusy se odvalují k patě hromady, kde se shromažďují a tvoří vrstvu s mezerami a průduchy umožňující přístup vzduchu a vodních par. [7]

Teplota samovznícení závisí na množství uvolněného a odvedeného tepla a to závisí na objemu a tvaru hořlavé látky, na jejím množství v jednotce objemu, na tlaku, době

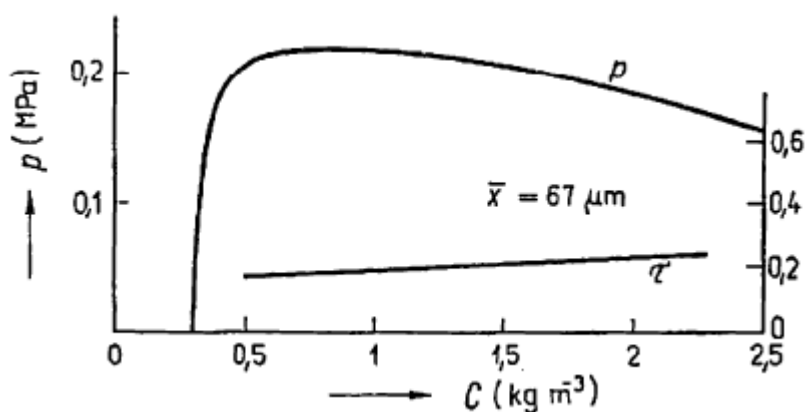
dodávání tepla a na dalších faktorech. Při stejném tvaru se zvýšením objemu snižuje velikost povrchu, který odvádí teplo v závislosti na jednotce objemu. Čím větší bude tento povrch, tím více bude převyšovat uvolňování tepla odvod tepla do okolí a tím nižší bude i teplota samovznícení. Zvyšováním objemu se teplota samovznícení snižuje a naopak. Tento jev neprobíhá neomezeně. Po dosažení určitého objemu (tvar se nemění) zůstává teplota samovznícení konstantní. Je to proto, že samovznícení neprobíhá v celém objemu současně, ale jen v jednom bodě, nebo v poměrně malé části objemu, kde se vytvořily optimální podmínky. Za ohnisko lze považovat místo, kde teplota dosáhla 65°C , nebo kde se teplota během 24 hodin zvyšuje o více než 3°C , nebo kde jsou zřejmé vnější příznaky samovznícení (zápach, žhnutí, světélkování).

Nebezpečí výbuchu a samovznícení uhlénohřídkového prášku je ovlivněno těmito faktory:

a) Koncentrace uhlénohřídkového prášku se vzduchem

Maximum výbušnosti je při koncentraci $C = 800 \text{ g/m}^3$. Dolní mez výbušnosti u hnědého uhlí $C_{\text{HU}} = 35$ až 100 g/m^3 , u černého uhlí se pohybuje v rozmezí $C_{\text{ČU}} = 240$ až 350 g/m^3 .

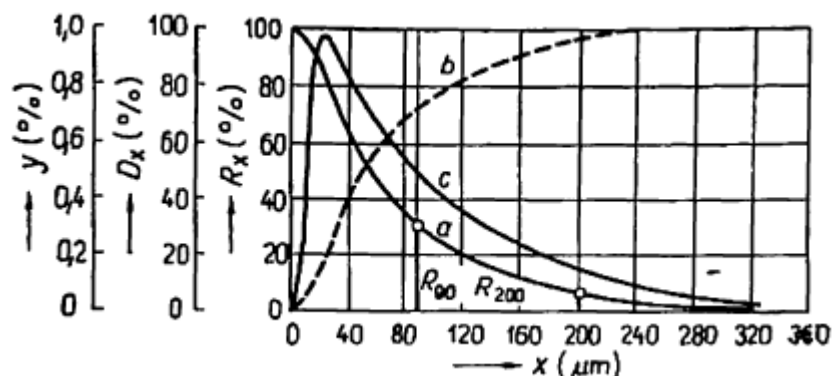
Horní mez výbušnosti pro všechny druhy uhlí $C = 2\,000$ až $7\,000 \text{ g/m}^3$.



Obr. 2-1 Vliv koncentrace na výbušnost uhlénohřídkového prášku [6]

b) Jemnost uhelného prášku

definováno rozsevou funkcí, křivkou četnosti nebo velikostí měrného povrchu $S \text{ (m}^2/\text{kg)}$. Ukazuje maximum pro zrna $x = 60 \text{ }\mu\text{m}$, přičemž pokles k menšímu zrně je jen pozvolný, ale s rostoucím rozměrem prudce klesá až na $p = 0 \text{ MPa}$ pro $x = 120 \text{ }\mu\text{m}$.



Obr. 2-2 Rozsevá křivka a) a křivka četnosti zrn c) [6]

c) Obsah O_2 ve směsi plynů s uhelným práškem

Se zvyšující se koncentrací kyslíku ($C_{O_2} > 10\%$) roste nebezpečí samovznícení a tlak při výbuchu dosahuje vyšších hodnot.

Tab. 2-1 Doporučený obsah vody v uhelném prášku [6]

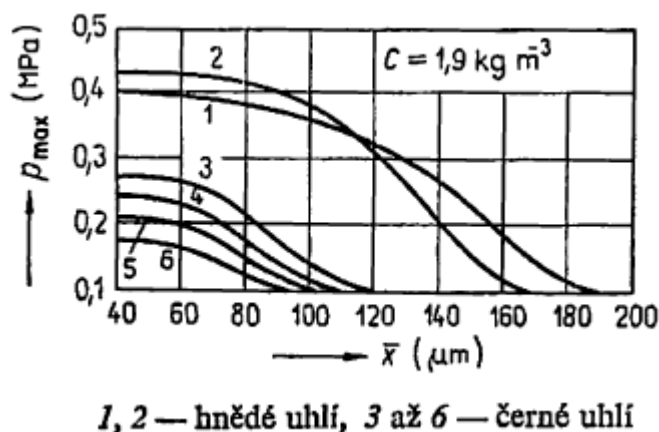
Mlecí okruh	Palivo	$W_1 \text{ (}\%)$
s přímým foukáním	antracit	$= W_h \div 2 \text{ až } 2,5$
	černé uhlí	$= W_h + (1 \text{ až } 2) \div 2,5 \text{ až } 4,5$
	hnědé uhlí a lignity	$= W_h + 4 \frac{W_o + W_h}{W_h} \div 9 \text{ až } 17$
	rašelina	$\div 25$
s práškovým zásobníkem	antracit a černé uhlí	$= W_h + 1 \div 2,5 \text{ až } 3,5$
	hnědé uhlí a lignity	$= W_h + 8 \div 11 \text{ až } 15$

d) Obsah vody a popelovin

S rostoucím W_1 a A_1 pro určitý druh paliva a koncentraci, nebezpečí výbuchu klesá. Stupeň vysušení uhlého prášku závisí na druhu paliva, typu mlecího okruhu a ohniště. Vysoký obsah vody může vést k zalepování práškovodů, váznutí prášku v podavačích, v zásobnících uhlého prášku, a ke zpoždění zápalu i protažení plamene. Přesušení prášku zvyšuje nebezpečí samovznícení a výbušnosti. Pro běžné druhy paliv se doporučuje sušit uhlý prášek na hodnoty uvedené v *Tab. 2-1 Doporučený obsah vody v uhlém prášku*.

e) Obsah prchavé hořlaviny V^{daf} (%)

Do $V^{\text{daf}} \leq 14\%$ nehrozí žádné nebezpečí samovznícení a výbušnosti. Riziko se začíná projevovat pro $V^{\text{daf}} > 25\%$ a s rostoucí hodnotou se zvyšuje. Na *Obr. 2-3 Vliv druhu uhlí (prchavá hořlavina) na výbušnost a samovznícení uhlého prášku*, je znázorněna závislost podílu prchavé hořlaviny na nebezpečí samovznícení a výbuchu.



Obr. 2-3 Vliv druhu uhlí (prchavá hořlavina) na výbušnost a samovznícení uhlého prášku [6]

f) Další faktory ovlivňující výbušnost a samovznícení

Výbušnost a samovznícení zvyšuje hlavně víření a turbulentní pohyb směsi, teplota směsi, přítomnost iniciačních zdrojů (jiskry) a hořlavých plynů, dále růst objemu mlecího okruhu, délka potrubí a vznik mrtvých koutů při proudění.

Tab. 2-2 Nejvyšší přípustná teplota brýd [6]

Typ mlecího okruhu, druh uhlí a sušícího média	t_{\max} (°C)
1. Mlecí okruhy s přímým foukáním:	
a) černé i hnědé uhlí, sušení směsí spalin a vzduchu	200
b) černé uhlí, sušení vzduchem	130
c) hnědé uhlí, sušení vzduchem	100
2. Ostatní složitější mlecí okruhy, černé i hnědé uhlí:	
a) sušení směsí spalin a vzduchu	90
b) sušení vzduchem	70
3. Mlecí okruhy na antracit a antracitická uhlí $V_f < 16 \%$	nepředepisuje se
4. Ve zvláštních případech a pro druhy paliv neuvedených, např. pro plástek, lignit, rašelina, dřevo aj.	určí výrobce
5. Parní a plynové trubnaté sušičky pro všechny druhy uhlí kromě antracitu a antracitických uhlí (teplota na výstupu)	110

3. Přehled možných variant monitorování zásobníků uhelného prášku a snížení skladovací teploty

Při provozu mlecího okruhu se průběžně plní zásobník prášku přes turnikety cyklónů a je vyprazdňován přes podavače prášku do dopravních potrubí uhelného prášku a dále do spalovací komory. Pokud je uhlý prášek nahromaděn delší dobu na místě (havarijní odstávka kotle), může docházet k samovznícení a ke zvyšování rizika výbuchu.

3.1. Monitorování hladiny prášku v zásobnících uhelného prášku

Mlecí zařízení se provozuje tak dlouho, až se naplní zásobník uhelného prášku příslušného kotle na 60 cm od stropu ZUP. V případě potřeby je však možno za pomoci reverzního dopravního šneku doplňovat zásobníky prášku sousedních kotlů. Mlecí zařízení se spouští při poklesu hladiny uhelného prášku v zásobníku na 2,5 m nebo na příkaz nadřízeného. Sleduje se hladina v zásobníku, aby nepřekročila stanovené hodnoty (2,5 m- 0,6 m).

Stav hladiny prášku v zásobníku zajišťuje, aby byla udržována hladina prášku mezi těmito hodnotami:

- a) Měřeno ručně od stropu ZUP pomocí lana se závažím (max. 0,6 m, min. 2,5 m)
- b) Měřeno od dna ZUP a zaznamenáváno trvale na PC (max. 5,4 m, min. 3,5 m)

Měření hladiny uhelného prášku:

Dolní alarm	2,80 m
Dolní varování	3,20 m
Horní varování	5,50 m
Horní alarm	5,80 m

3.2. Monitorování teploty v zásobnících uhlého prášku

Měření teploty zásobníku uhlého prášku (2ks):

Dolní alarm	60 °C
Dolní varování	65 °C
Horní varování	85°C
Horní alarm	90 °C

Při zvyšování teploty směsi v mlecím zařízení a v zásobníku nad přípustnou mez, je nutno v prvé řadě dle možností zvýšit přísun paliva do mlýna. Není-li toto možné, snižovat teplotu pozvolna postupným otevíráním klapky č. 10. Nezačne-li ani po těchto zásazích teplota klesat, může to být známka vzniku žhnoucího ohniska v mlýnském okruhu. Provádí se odstranění žhnoucího prášku. Není-li toto možné, je nutno do okruhu pustit inertní plyn a zařízení odstavit. Znovu uvedení mlecího zařízení do provozu se dovoluje pouze po úplné likvidaci ohniska hoření, vyčištění zařízení a obnovení zásoby inertního plynu a hasebních prostředků. Současně je nutno provést kontrolu pojistného ústrojí.

Odstraňovat nebo hasit žhnoucí ohnisko uvnitř nebo vně zařízení přímým proudem vody nebo jiným způsobem, který může rozvířit prášek, je zakázáno. Volné žhnoucí ohnisko lze hasit pískem, popelem, vápencovým prachem nebo chemickou pěnou

Při zvýšení teploty nad 100 °C v zásobníku uhlého prášku je nutno zamezit přístupu vzduchu a pozoruje se, zda teplota ještě stoupá. Je třeba okamžitě přerušit dopravu uhlého prášku a zásobník naplnit inertním plynem (CO₂, N₂), ZUP vyprázdnit. Jakmile se prášek v zásobníku spotřebuje, může být do zásobníku dopravován uhlý prášek za předpokladu, že se v zásobníku stále udržuje atmosféra.

3.3. Monitorování oxidu uhelnatého v zásobnících uhlého prášku

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, nedráždivý, je nepatrně lehčí než vzduch, hoří modrým plamenem, má silné redukční vlastnosti. Ve vodě je málo rozpustný. Je-li ve vzduchu přítomen v množství 12,5 až 74,2 %, vybuchuje za vzniku oxidu

uhličitého. S některými kovy reaguje oxid uhelnatý za vzniku karbonylů, které jsou také vysoce toxické. Vzniká při nedokonalém spalování, při tlení biomasy, nebo se uvolňuje při samovznícení paliva.

Na TKV není v současné době nainstalováno žádné zařízení pro monitorování CO v zásobnících uhlého prášku. Byl vypracován návrh, který by mohl být v budoucnosti na TKV realizován:

Pro měření koncentrací CO je doporučeno použití **infračervených snímačů**. Snímače nelze osadit přímo do zásobníků, neboť by docházelo k jejich zaprášení a k následnému zanesení místa pro vstup plynu k senzoru snímače. Takovýto snímač by nebyl schopen reagovat na přítomné koncentrace CO. Proto budou na 8 stanovených místech instalovány odběrové sondy, které budou odebírat vzorky, a to:

- v zásobníku surového paliva – 4 odběrová místa
- v zásobníku prášku - 4 odběrová místa

Odběrové sondy budou umístěny ve stropu zásobníků, tím se zamezí jejich ucpávání a případnému poškození. Pomocí dopravního potrubí budou vzorky dopraveny do nově vybudovaného **centrálního rozvaděče měření CO** (dále jen RM-CO), kde dojde k jejich úpravě. Vzorky je nutné vysušit od vlhkosti (ventily odkalu), vyčistit od prachu (ventily profuku) a zbavit nečistot ze vzduchu (olejový filtr).

Takto upravený vzorek plynu bude následně vyhodnocen snímačem CO. V případě překročení nastavených signalizačních mezí dojde k sepnutí opticko-akustické signalizace a následných akčních zásahů obsluhou nebo automaticky.

1. V případě možnosti inertizace zásobníku dusíkem, se doporučuje měření doplnit senzorem pro měření koncentrací kyslíku.
2. Vzorkovací systém by měl být napojen na technologický vzduch nebo dusík a zpětně pravidelně profukován, aby se zvýšily periody výměn filtrů z důvodu zaprášení.

Tento systém by bylo možné v případě rozšířit o další snímače, např. na monitorování H₂S atd. Odběrný systém je napojen na technologický vzduch, který zajišťuje zpětný profuk,

aby se odběrové hadičky nezanášely prachem a nečistotami. Protože kompresorová stanice je zastaralá a docházelo by k zašpinění vzduchu, je třeba RM-CO vybavit olejovými filtry. Měření je doplněno ještě o měření O_2 z důvodu inertizace.

Obdobný systém byl v minulosti vybudován na Teplárně Kladno, kde se monitorování CO provádí v zásobnících surového uhlí a uhelného prášku.

Návrh akčních zásahů a monitorovacích hladin koncentrace CO

- a) **Koncentrace CO překročí 200 ppm nebo/a teplota přesáhne uvnitř zásobníku ve výsypkách 90°C.** Tyto signalizační meze se doporučuje signalizovat na velín zvukově. Obsluha je povinna sledovat vývoj koncentrací CO v zásobníku. Pokud je zásobník zauhlován – obsluha neprodleně ukončí zauhlování. Obsluha by měla zkontrolovat hladinu zásobníku (termovize), zda nejsou viditelná žhavá ložiska. V případě, že ano je nutné provést inertizaci a nouzové vyprázdnění zásobníku. Pokud se koncentrace CO nezvyšuje a zůstává pod 200 ppm, může se provést zauhlení po předchozí kontrole hladiny paliva v zásobníku obsluhou, zda nejsou viditelná žhavá ložiska. Tuto kontrolu lze provádět i infrakamerou
- b) **Koncentrace CO stoupá a překročí 350 ppm** je nutno postupovat podle opatření při zahoření v zásobníku. K inertizaci je nutno rovněž přistoupit, když teplota v zásobníku ve výsypkách přesáhne 90°C.

U každého zásobníku je instalováno měření hladiny prášku, měření teploty, přívod z hasící CO_2 baterie, 5 ks akčních prvků ochranného systému ANTIDET, který slouží k potlačení výbuchu uvnitř uzavřených zařízení. Mlecí okruh je vybaven pojistnými membrány.

4. Bilanční výpočty mlýnice a spotřeby uhelného prášku pro kotle TKV

Sušení a mletí paliva na TKV probíhá v mlýnici s mezizásobníkem prášku. Jedná se o uzavřený mlecí okruh, tzn. že brýdy se zavádějí do zvláštních (brýdových) hořáků a zároveň slouží jako primární nosné médium k dopravě uhelného prášku do ohniště. Výhodou mlecích okruhů s práškovými zásobníky je menší měrná mlecí práce, jelikož lze mlýny provozovat při jejich optimálním výkonu bez ohledu na výkon kotle. Regulovatelnost výkonu kotle je ovlivněna pouze dynamickými vlastnostmi práškových podavačů a práškovodů.

4.1. Rovnice tepelné bilance mlýna

Na TKV je spalována směs paliv (černý prach, granulované kaly a biomasa). Pro zjednodušení výpočtu bude uvažováno pouze se spalováním **energetického prachu (Darkov, 0-20 mm)** viz *Tab. 4-1 Spalované palivo a parametry mlýnského okruhu*.

$$q_{PV1} + q_{pal1} + q_m - q_w - q_{PV2} - q_{UP2} - q_z = 0 \quad [8] \quad (4-1)$$

q_{PV1} měrné teplo (teplo vztažené na 1 kg paliva) sušících spalin nasávaných z kotle na konci ohniště, (kJ/kg)

q_{pal1} měrné teplo surového paliva na vstupu do mlýna (kJ/kg)

q_m měrné teplo vzniklé třením ve mlýně, zahrnuje i měrnou práci mlýnského ventilátoru (kJ/kg)

q_w měrné teplo na sušení paliva (kJ/kg)

q_{PV2} měrné teplo vázané ve spalinách za mlýnem (kJ/kg)

q_{UP2} měrné teplo vázané v uhelném prášku na výstupu ze mlýna (kJ/kg)

q_z měrné tepelné ztráty mlecího okruhu (kJ/kg)

Tab. 4-1 Spalované palivo a parametry mlýnského okruhu

	Značka	Hodnota	Jednotky
Parametry paliva			
Obsah vody	W^r	7,68	%
Obsah popeloviny	A^r	24	%
Obsah prchavé hořlaviny	V^{daf}	27	%
Obsah uhlíku	C^r	57,75	%
Obsah vodíku	H^r	3,54	%
Obsah dusíku	N^r	0,79	%
Obsah síry	S^r	0,46	%
Obsah kyslíku	O^r	5,54	%
Výhřevnost	Q_i^r	22,34	MJ/kg
Množství surového paliva na vstupu do mlýna	m_{PAL1}	19 000	kg/h
Teplota surového paliva na vstupu do mlýna	t_{PAL1}	25	°C
Parametry sušícího média			
Relativní vlhkost nasávaného sušícího média	φ_o	5	%
Tlak sušícího média na vstupu do mlýna	p_1	100 625	Pa
Teplota sušícího média na vstupu do mlýna	t_{PV1}	240	°C
Přebytek vzduchu	α	1,13	-
Součinitel zvětšení objemu vlivem vlhkosti	ν	1,05	-
Měrný hmotnostní průtok nasávaných vlhkých spalin	y_{PV1}	0,9796	kg/kg
Tlak vzdušiny na výstupu z mlýna	p_{zaML}	99 725	Pa
Teplota sušícího média na výstupu z mlýna	t_{sm2}	110,3	°C
Ostatní parametry			
Zbytkový obsah vody na výstupu z mlýna	W_2	2	%
Ztráta sdílením tepla do okolí	ξ_s	0,1	-
Měrná mlecí práce	ε_m	29	kWh/t
Tlak primární uhelné směsi za třídičem	p_2	99 015	Pa
Podíl přeměny mlecí práce na teplo	k	0,7	-
Střední měrná tepelná kapacita zbytkové vody v uhelném prášku	c_{pw2}	4,2	kJ/kg·K

4.2. Měrné teplo sušících spalin

Stechiometrické výpočty

Objem spalovacího vzduchu

$$O_{O_2min} = \frac{22,39}{12,011} \cdot C^r + \frac{22,39}{32,066} \cdot S^r + \frac{22,39}{2 \cdot 2,016} \cdot H^r - \frac{22,39}{32} \cdot O^r \quad [m_N^3/kg] \quad (4-2)$$

$$O_{O_2min} = \frac{22,39}{12,011} \cdot 0,5775 + \frac{22,39}{32,066} \cdot 0,0046 + \frac{22,39}{2 \cdot 2,016} \cdot 0,0354 - \frac{22,39}{32} \cdot 0,0554$$

$$O_{O_2min} = \mathbf{1,238 \, m_N^3/kg}$$

$$O_{VSmin} = \frac{O_{O_2min}}{0,2095} \quad [m_N^3/kg] \quad (4-3)$$

$$O_{VSmin} = \frac{1,238}{0,2095} = \mathbf{5,909 \, m_N^3/kg}$$

$$O_{VS} = O_{VSmin} \cdot \alpha \quad [m_N^3/kg] \quad (4-4)$$

$$O_{VS} = 5,909 \cdot 1,13 = \mathbf{6,677 \, m_N^3/kg}$$

$$O_{VV} = O_{VS} \cdot v \quad [m_N^3/kg] \quad (4-5)$$

$$O_{VV} = 6,677 \cdot 1,01 = \mathbf{6,744 \, m_N^3/kg}$$

O_{O_2min} ..stechiometrický objem kyslíku potřebný pro dokonalé spálení 1 kg paliva
(m_N^3/kg),

C^r obsah uhlíku v surovém vzorku paliva (%).

S^r obsah síry v surovém vzorku paliva (%).

H^r obsah vodíku v surovém vzorku paliva (%).

O^r obsah kyslíku v surovém vzorku paliva (%).

O_{VSmin} .stechiometrické množství suchého vzduchu teoretického (m_N^3/kg),

O_{VS}stechiometrické množství suchého vzduchu skutečného (m_N^3/kg),

α součinitel přebytku vzduchu (-),

O_{VV} stechiometrické množství vlhkého vzduchu skutečného (m_N^3/kg),

vsoučinitel zvětšení objemu vlivem vlhkosti (-).

Objem spalin

$$O_{PS\ min} = O_{CO_2} + O_{SO_2} + O_{N_2} \quad [m_N^3/kg] \quad (4-6)$$

$$O_{PS\ min} = 1,070 + 0,003 + 4,677 = \mathbf{5,750\ m_N^3/kg}$$

$$O_{CO_2} = \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r \quad [m_N^3/kg] \quad (4-7)$$

$$O_{CO_2} = \frac{22,26}{12,011} \cdot 0,5775 = \mathbf{1,070\ m_N^3/kg}$$

$$O_{SO_2} = \frac{21,89}{32,066} \cdot S^r \quad [m_N^3/kg] \quad (4-8)$$

$$O_{SO_2} = \frac{21,89}{32,066} \cdot 0,0046 = \mathbf{0,003\ m_N^3/kg}$$

$$O_{N_2} = 0,7905 \cdot O_{VS\ min} + \frac{22,4}{28,016} \cdot N^r \quad [m_N^3/kg] \quad (4-9)$$

$$O_{N_2} = 0,7905 \cdot 5,909 + \frac{22,4}{28,016} \cdot 0,0079 = \mathbf{4,677\ m_N^3/kg}$$

$$O_{PS} = O_{PS\ min} + (\alpha - 1) \cdot O_{VS\ min} \quad [m_N^3/kg] \quad (4-10)$$

$$O_{PS} = 5,750 + 1,13 - 1 \cdot 5,909 = \mathbf{6,518\ m_N^3/kg}$$

$$O_{H_2O,sk} = \frac{2 \cdot 22,4}{2 \cdot 2,016} \cdot H^r + \frac{22,4}{18,016} \cdot W^r + \alpha \cdot (v - 1) \cdot O_{VS\ min} \quad [m_N^3/kg] \quad (4-11)$$

$$O_{H_2O,sk} = \frac{2 \cdot 22,4}{2 \cdot 2,016} \cdot 0,0354 + \frac{22,4}{18,016} \cdot 0,0768 + 1,13 \cdot 1,01 - 1 \cdot 5,909$$

$$O_{H_2O,sk} = \mathbf{0,556 \, m_N^3/kg}$$

$$O_{PV} = O_{PS} + O_{H_2O,sk} \quad [m_N^3/kg] \quad \mathbf{(4-12)}$$

$$O_{PV} = 6,518 + 0,556 = \mathbf{7,074 \, m_N^3/kg}$$

$O_{PS \, min}$ stechiometrický objem suchých spalín teoretických (m_N^3/kg),

O_{CO_2} objem CO_2 v suchých spalínách teoretických (m_N^3/kg),

O_{SO_2} objem SO_2 v suchých spalínách teoretických (m_N^3/kg),

O_{N_2} objem N_2 v suchých spalínách teoretických (m_N^3/kg),

O_{PS} stechiometrický objem suchých spalín skutečných (m_N^3/kg),

O_{PV} stechiometrický objem vlhkých spalín skutečných (m_N^3/kg),

O_{H_2O} stechiometrický objem vodní páry ve spalínách (m_N^3/kg),

N^r obsah dusíku v surovém vzorku paliva (%),

W^r obsah vody v surovém vzorku paliva (%).

Koncentrace složek ve spalínách

$$\omega_i = \frac{O_i}{O_{PV}} \cdot 100 \quad [\%] \quad \mathbf{(4-13)}$$

$$\omega_{CO_2} = \frac{O_{CO_2}}{O_{PV}} \cdot 100 = \frac{1,070}{7,074} \cdot 100 = \mathbf{15,13 \, \%}$$

$$\omega_{SO_2} = \frac{O_{SO_2}}{O_{PV}} \cdot 100 = \frac{0,003}{7,074} \cdot 100 = \mathbf{0,042 \%}$$

$$\omega_{O_2} = \frac{O_{O_2}}{O_{PV}} \cdot 100 = \frac{0,2095 \cdot \alpha - 1 \cdot O_{VSmin}}{O_{PV}} \cdot 100 \quad [\%] \quad \mathbf{(4-14)}$$

$$\omega_{O_2} = \frac{0,2095 \cdot 1,13 - 1 \cdot 5,909}{7,074} \cdot 100 = \mathbf{2,28\%}$$

$$\omega_{N_2} = \frac{O_{N_2,sk}}{O_{PV}} \cdot 100 = \frac{0,7905 \cdot 6,677 + \frac{22,4}{28,016} \cdot 0,0079}{7,074} \cdot 100 = \mathbf{74,7 \%}$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{O_{H_2O,sk}}{O_{PV}} \cdot 100 = \frac{0,556}{7,074} \cdot 100 = \mathbf{7,86 \%}$$

$$\omega_c = \omega_{CO_2} + \omega_{SO_2} + \omega_{O_2} + \omega_{N_2} + \omega_{H_2O} = 15,13 + 0,042 + 2,28 + 74,7 + 7,86 = 100 \%$$

ω_ikoncentrace uvažované složky ve spalínách (%),

O_iobjem uvažované složky ve spalínách (m_N^3/kg),

iuvažovaná složka (možno dosadit CO_2 , SO_2 , N_2 , O_2 a H_2O).

Hustota jednotlivých složek spalín za normálních podmínek

Výpočet hustoty jednotlivých složek spalín byl proveden pomocí programu EES (Engineering Equation Solver), výpočty jsou součástí *Přílohy č. 2 Datový nosič CD*.

$t_n=0[^\circ C]$

$p_n=101,325[kPa]$

$$\rho_{CO_2} = \text{Density}(\text{CarbonDioxide}; T=T_n; P=P_n)$$

$$\rho_{SO_2} = \text{Density}(\text{SulfurDioxide}; T=T_n; P=P_n)$$

$$\rho_{N_2} = \text{Density}(\text{Nitrogen}; T=T_n; P=P_n)$$

$$\rho_{O_2} = \text{Density}(\text{Oxygen}; T=T_n; P=P_n)$$

$$\rho_{H_2O} = \text{Density}(\text{Steam_IAPWS}; T=T_n; P=P_n)$$

Hustota nasávaných vlhkých spalin

$$\begin{aligned} \rho_{PV1} = & \frac{\omega_{CO_2}}{100} \cdot \rho_{CO_2} + \frac{\omega_{SO_2}}{100} \cdot \rho_{SO_2} + \frac{\omega_{N_2}}{100} \cdot \rho_{N_2} + \frac{\omega_{O_2}}{100} \cdot \rho_{O_2} + \\ & + \frac{\omega_{H_2O}}{100} \cdot \rho_{H_2O} \end{aligned} \quad [kg/m_N^3] \quad (4-15)$$

$$\rho_{PV1} = \frac{15,13}{100} \cdot 1,977 + \frac{0,042}{100} \cdot 2,931 + \frac{74,7}{100} \cdot 1,25 + \frac{2,28}{100} \cdot 1,429 + \frac{7,86}{100} \cdot 1000$$

$$\rho_{PV1} = 79,86 \text{ kg/m}_N^3$$

Hmotnostní podíl jednotlivých složek v nasávaných spalinách

$$x_i = \frac{\rho_i \cdot \omega_i}{\rho_{PV1}} \quad [\%] \quad (4-16)$$

ρ_i hustota uvažované složky v nasávaných spalinách (kg/m_N^3),

ω_i koncentrace uvažované složky v nasávaných spalinách (%),

ρ_{PV1} hustota nasávaných vlhkých spalin (kg/m_N^3).

Hmotnostní podíl CO_2 v nasávaných spalínách

$$x_{CO_2,PV1} = \frac{\rho_{CO_2,PV1} \cdot \omega_{CO_2,PV1}}{\rho_{PV1}} \quad [\%] \quad (4-17)$$

$$x_{CO_2,PV1} = \frac{1,977 \cdot 15,13}{79,8} = 0,375 \%$$

Hmotnostní podíl SO_2 v nasávaných spalínách

$$x_{SO_2,PV1} = \frac{\rho_{SO_2,PV1} \cdot \omega_{SO_2,PV1}}{\rho_{PV1}} \quad [\%] \quad (4-18)$$

$$x_{SO_2,PV1} = \frac{2,931 \cdot 0,042}{79,8} = 0,0015 \%$$

Hmotnostní podíl N_2 v nasávaných spalínách

$$x_{N_2,PV1} = \frac{\rho_{N_2,PV1} \cdot \omega_{N_2,PV1}}{\rho_{PV1}} \quad [\%] \quad (4-19)$$

$$x_{N_2,PV1} = \frac{1,25 \cdot 74,7}{79,8} = 1,17 \%$$

Hmotnostní podíl O_2 v nasávaných spalínách

$$x_{O_2,PV1} = \frac{\rho_{O_2,PV1} \cdot \omega_{O_2,PV1}}{\rho_{PV1}} \quad [\%] \quad (4-20)$$

$$x_{O_2,PV1} = \frac{1,429 \cdot 2,28}{79,8} = 0,041 \%$$

Hmotnostní podíl vodní páry v nasávaných spalínách

$$x_{H_2O,PV1} = \frac{\rho_{H_2O,PV1} \cdot \omega_{H_2O,PV1}}{\rho_{PV1}} \quad [\%] \quad (4-21)$$

$$x_{H_2O,PV1} = \frac{1000 \cdot 7,86}{79,8} = 98,5 \%$$

Střední měrné tepelné kapacity

$$c_{p,CO_2PV1} = -8 \cdot 10^{-8} \cdot t_{PV1}^2 + 0,00035634 \cdot t_{PV1} + 0,841 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-22)$$

$$c_{p,CO_2PV1} = -8 \cdot 10^{-8} \cdot 240^2 + 0,00035634 \cdot 240 + 0,841$$

$$c_{p,CO_2PV1} = \mathbf{0,922 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$c_{p,SO_2PV1} = -1 \cdot 10^{-7} \cdot t_{PV1}^2 + 0,00028124 \cdot t_{PV1} + 0,607 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-23)$$

$$c_{p,SO_2PV1} = -1 \cdot 10^{-7} \cdot 240^2 + 0,00028124 \cdot 240 + 0,607$$

$$c_{p,SO_2PV1} = \mathbf{0,669 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$c_{p,N_2PV1} = -1 \cdot 10^{-8} \cdot t_{PV1}^2 + 0,00010192 \cdot t_{PV1} + 1,025 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-24)$$

$$c_{p,N_2PV1} = -1 \cdot 10^{-8} \cdot 240^2 + 0,00010192 \cdot 240 + 1,025$$

$$c_{p,N_2PV1} = \mathbf{1,049 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$c_{p,O_2PV1} = -3 \cdot 10^{-8} \cdot t_{PV1}^2 + 0,00014684 \cdot t_{PV1} + 0,910 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-25)$$

$$c_{p,O_2PV1} = -3 \cdot 10^{-8} \cdot 240^2 + 0,00014684 \cdot 240 + 0,910$$

$$c_{p,O_2PV1} = \mathbf{0,944 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$c_{p,H_2OPV1} = -1 \cdot 10^{-8} \cdot t_{PV1}^2 + 0,00032937 \cdot t_{PV1} + 1,829 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-26)$$

$$c_{p,H_2OPV1} = -1 \cdot 10^{-8} \cdot 240^2 + 0,00032937 \cdot 240 + 1,829$$

$$c_{p,H_2OPV1} = \mathbf{1,907 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

t_{PV1}teplota vlhkých spalín na vstupu ($^{\circ}C$)

Střední měrná tepelná kapacita nasávaných sušících spalin

$$c_{p,PV1} = \frac{x_{CO_2PV1}}{100} \cdot c_{p,CO_2PV1} + \frac{x_{SO_2PV1}}{100} \cdot c_{p,SO_2PV1} + \frac{x_{N_2PV1}}{100} \cdot c_{p,N_2PV1} + \\ + \frac{x_{O_2PV1}}{100} \cdot c_{p,O_2PV1} + \frac{x_{H_2O,PV1}}{100} \cdot c_{p,H_2O,PV1} \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-27)$$

$$c_{p,PV1} = \frac{0,375}{100} \cdot 0,922 + \frac{0,0015}{100} \cdot 0,669 + \frac{1,17}{100} \cdot 1,049 + \frac{0,041}{100} \cdot 0,944 + \frac{98,5}{100} \cdot 1,907$$

$$c_{p,PV1} = \mathbf{1,878 \, kJ/kg \cdot K}$$

Měrné teplo nasávaných sušících spalin

$$q_{PV1} = y_{PV1} \cdot c_{p,PV1} \cdot t_{PV1} \quad [kJ/kg] \quad (4-28)$$

$$q_{PV1} = 0,9796 \cdot 1,878 \cdot 240 = \mathbf{441,53 \, kJ/kg}$$

4.3. Měrné teplo vstupního surového paliva

Střední měrná tepelná kapacita hořlaviny paliva při teplotě paliva na vstupu do mlýna

$$c_{p,h1} = 0,84 + 0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,13 + \frac{V_1^{daf}}{100} \cdot 130 + t_{PAL1} \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-29)$$

$$c_{p,h1} = 0,84 + 0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,13 + \frac{27}{100} \cdot 130 + 25 = \mathbf{0,864 \, kJ/kg \cdot K}$$

V_1^{daf} podíl prchavé hořlaviny (%),

t_{PAL1} teplota surového paliva na vstupu do mlýna ($^{\circ}C$)

Střední měrné tepelná kapacita popela při teplotě paliva na vstupu do mlýna

$$c_{p,A1} = 0,5 \cdot 1,42 + \frac{t_{PAL1}}{1000} \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-30)$$

$$c_{p,A1} = 0,5 \cdot 1,42 + \frac{25}{1000} = \mathbf{0,723 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

Obsah hořlaviny v palivu

$$h_1 = 100 - A_1^r - W_1^r \quad [\%] \quad (4-31)$$

$$h_1 = 100 - 24 - 7,68 = \mathbf{68,32 \%}$$

A_1^r obsah popeloviny v surovém vzorku paliva (%),

W_1^r obsah vody v surovém vzorku paliva (%).

Střední měrné tepelná kapacita paliva při teplotě paliva na vstupu do mlýna

$$c_{p,PAL1} = c_{p,A1} \cdot \frac{A_1^r}{100} + c_{p,h1} \cdot \frac{h_1}{100} + c_{p,W1} \cdot \frac{W_1^r}{100} \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-32)$$

$$c_{p,PAL1} = 0,723 \cdot \frac{24}{100} + 0,864 \cdot \frac{68,32}{100} + 4,2 \cdot \frac{7,68}{100} = \mathbf{1,086 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$c_{p,W1}$ střední měrná tepelná kapacita vody ($4,2 \text{ kJ/kg} \cdot K$)

Měrné teplo surového paliva na vstupu do mlýna

$$q_{PAL1} = c_{p,PAL1} \cdot t_{PAL1} \quad [kJ/kg] \quad (4-33)$$

$$q_{PAL1} = 1,086 \cdot 25 = \mathbf{27,15 \text{ kJ/kg}}$$

4.4. Měrné teplo vzniklé částečnou přeměnou mlecí práce ve mlýně

Během procesu mletí uhlí ve mlýně dojde vlivem vzájemného tření částic a částic s mlecími elementy k částečné přeměně měrné mlecí práce na teplo.

$$q_m = k \cdot \varepsilon_m \quad [kJ/kg] \quad (4-34)$$

$$q_m = 0,7 \cdot 29 = \mathbf{20,3 \text{ kJ/kg}}$$

k podíl přeměny mlecí práce na teplo, pro trubnaté mlýny $k = 0,7$

ε_m měrná mlecí práce (kWh/t).

4.5. Měrné teplo pro odpaření vody z paliva

Úbytek vody v palivu

$$\Delta W = \frac{W_1^r - W_2}{100 - W_2} \quad [kg/kg] \quad (4-35)$$

$$\Delta W = \frac{7,68 - 2}{100 - 2} = \mathbf{0,058 \text{ kg/kg}}$$

W_1^r počáteční obsah vody v surovém palivu (%),

W_2 zbytkový obsah vody v uhelné částici pro vysušení (%).

Měrná vlhkost směsi na výstupu ze mlýna

$$d_{22} = \text{HumRat}(\text{AirH2O}; T=T_{sm2}; r=rh_1; P=P_{zaML})$$

t_{sm2} teplota sušícího média na výstupu z mlýna (°C),

ρ_1 relativní vlhkost nasávaného sušícího média (%),

p_{zaML} tlak na výstupu z mlýna (kPa),

Parciální tlak vodní páry ve směsi za mlýnem

$$p_{H_2O,2} = \frac{p_2 \cdot d_2}{0,622 + d_2} \quad [Pa] \quad (4-36)$$

$$p_{H_2O,2} = \frac{99,015 \cdot 0,0498}{0,622 + 0,0498} = 7,34 \text{ kPa}$$

p_2 tlak primární uhelné směsi za třídičem (kPa),

d_2 měrná vlhkost směsi na výstupu ze mlýna (kg_{H_2O}/kg).

Měrné teplo pro odpaření vody z paliva

$$q_W = \frac{w_1^r - w_2}{100 - w_2} \cdot i_{w2} - i_{w1} \quad [kJ/kg] \quad (4-37)$$

$$q_W = \frac{7,68 - 2}{100 - 2} \cdot 2709 - 104,9 = 150,93 \text{ kJ/kg}$$

i_{w2} entalpie vody obsažené v palivu na vstupu do mlýna (kJ/kg),

i_{w1} entalpie vodní páry ve směsi za mlýnem (kJ/kg).

4.6. Měrné teplo vázané ve spalinách za mlýnem

Střední měrné tepelné kapacity

$$c_{p,CO_2OPV2} = -8 \cdot 10^{-8} \cdot t_{sm2}^2 + 0,00035634 \cdot t_{sm2} + 0,841 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-38)$$

$$c_{p,CO_2PV2} = -8 \cdot 10^{-8} \cdot 110,9^2 + 0,00035634 \cdot 110,9 + 0,841$$

$$c_{p,CO_2PV2} = \mathbf{0,880 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$c_{p,SO_2PV2} = -1 \cdot 10^{-7} \cdot t_{sm2}^2 + 0,00028124 \cdot t_{sm2} + 0,607 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-39)$$

$$c_{p,SO_2PV2} = -1 \cdot 10^{-7} \cdot 110,9^2 + 0,00028124 \cdot 110,9 + 0,607$$

$$c_{p,SO_2PV2} = \mathbf{0,637 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$c_{p,N_2PV2} = -1 \cdot 10^{-8} \cdot t_{sm2}^2 + 0,00010192 \cdot t_{sm2} + 1,025 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-40)$$

$$c_{p,N_2PV2} = -1 \cdot 10^{-8} \cdot 110,9^2 + 0,00010192 \cdot 110,9 + 1,025$$

$$c_{p,N_2PV2} = \mathbf{1,036 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$c_{p,O_2PV2} = -3 \cdot 10^{-8} \cdot t_{sm2}^2 + 0,00014684 \cdot t_{sm2} + 0,910 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-41)$$

$$c_{p,O_2PV2} = -3 \cdot 10^{-8} \cdot 110,9^2 + 0,00014684 \cdot 110,9 + 0,910$$

$$c_{p,O_2PV2} = \mathbf{0,926 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$c_{p,H_2OPV2} = -1 \cdot 10^{-8} \cdot t_{sm2}^2 + 0,00032937 \cdot t_{sm2} + 1,829 \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-42)$$

$$c_{p,H_2OPV2} = -1 \cdot 10^{-8} \cdot 110,9^2 + 0,00032937 \cdot 110,9 + 1,829$$

$$c_{p,H_2OPV2} = \mathbf{1,865 \text{ kJ/kg} \cdot K}$$

$$\begin{aligned} c_{p,PV2} = & \frac{x_{CO_2PV1}}{100} \cdot c_{p,CO_2PV2} + \frac{x_{SO_2PV1}}{100} \cdot c_{p,SO_2PV2} + \frac{x_{N_2PV1}}{100} \cdot c_{p,N_2PV2} + \\ & + \frac{x_{O_2PV1}}{100} \cdot c_{p,O_2PV2} + \frac{x_{H_2O,PV1}}{100} \cdot c_{p,H_2O,PV2} \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-43) \end{aligned}$$

$$c_{p,PV2} = \frac{0,375}{100} \cdot 0,880 + \frac{0,0015}{100} \cdot 0,637 + \frac{1,17}{100} \cdot 1,036 + \frac{0,041}{100} \cdot 0,926 + \frac{98,5}{100} \cdot 1,865$$

$$c_{p,PV2} = 1,853 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

Měrné teplo nasávaných sušících spalín

$$q_{PV2} = y_{PV1} \cdot c_{p,PV2} \cdot t_{sm2} \quad [kJ/kg] \quad (4-44)$$

$$q_{PV2} = 0,9796 \cdot 1,853 \cdot 110,9 = 201,31 \text{ kJ/kg}$$

4.7. Měrné teplo uhelného prášku na výstupu ze mlýna

Úbytek vody z paliva sušením ve mlýně se projeví na složení uhelného prášku. Změnu složení uhelného prášku je nutné zohlednit v následujícím výpočtu:

$$A_2 = A_1^r \cdot \frac{100 - W_2}{100 - W_1^r} \quad [\%] \quad (4-45)$$

$$A_2 = 24 \cdot \frac{100 - 2}{100 - 7,68} = 25,48 \%$$

Obsah hořlaviny v uhelném prášku

$$h_2 = 100 - A_2 - W_2 \quad [\%] \quad (4-46)$$

$$h_2 = 100 - 25,48 - 2 = 72,52 \%$$

Střední měrná tepelná kapacita hořlaviny za mlýnem, tzn. při teplotě směsi za mlýnem

$$c_{p,h2} = 0,84 + 0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,13 + \frac{V_1^{daf}}{100} \cdot 130 + t_{sm2} \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-47)$$

$$c_{p,h2} = 0,84 + 0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,13 + \frac{27}{100} \cdot 130 + 110,9$$

$$c_{p,h2} = 0,877 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

Střední měrné tepelná kapacita popela při teplotě paliva na vstupu do mlýna

$$c_{p,A2} = 0,5 \cdot 1,42 + \frac{t_{sm2}}{1000} \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-48)$$

$$c_{p,A2} = 0,5 \cdot 1,42 + \frac{110,9}{1000} = 0,765 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

Střední měrné tepelná kapacita uhelného prášku za mlýnem

$$c_{p,UP2} = c_{p,A2} \cdot \frac{A_2}{100} + c_{p,h2} \cdot \frac{h_2}{100} + c_{p,W2} \cdot \frac{W_2}{100} \quad [kJ/kg \cdot K] \quad (4-49)$$

$$c_{p,UP2} = 0,765 \cdot \frac{25,48}{100} + 0,877 \cdot \frac{72,52}{100} + 4,2 \cdot \frac{2}{100} = 0,915 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$c_{p,W2}$ střední měrná tepelná kapacita vody (4,2 kJ/kg · K)

Měrné teplo vázané v uhelném prášku na výstupu z mlýna

$$q_{UP2} = \frac{100-W_1^r}{100-W_2} \cdot c_{p,UP2} \cdot t_{sm2} \quad [kJ/kg] \quad (4-50)$$

$$q_{UP2} = \frac{100 - 7,68}{100 - 2} \cdot 0,915 \cdot 110,9 = 95,59 \text{ kJ/kg}$$

4.8. Tepelné ztráty mlecího okruhu

Výpočet se provádí z tepla přivedeného do mlýnského okruhu sušícím médiem při zvoleném ztrátovém součiniteli $\zeta_s = 0,05 \div 0,15$ (5 až 15% z přivedeného tepla sušícího média přejde sdílením tepla do okolí).

$$q_z = \zeta_s \cdot q_{SV1} \quad [kJ/kg] \quad (4-51)$$

$$q_z = 0,1 \cdot 441,53 = 44,153 \text{ kJ/kg}$$

Výsledná tepelná bilance mlýnského okruhu

$$q_{PV1} + q_{pal1} + q_m - q_w - q_{PV2} - q_{UP2} - q_z = 0$$

$$441,53 + 27,15 + 20,3 - 150,93 - 201,31 - 95,59 - 44,153 = 3 \text{ kJ/kg}$$

4.9. Spotřeba uhelného prášku

Spotřeba uhelného prášku

$$m_{pal} = \frac{Q_{vyr}}{\eta_k \cdot Q_i^r} = \frac{Q_{EKO} + Q_{vyp} + Q_{pře}}{\eta_k \cdot Q_i^r} \quad [kg/h] \quad (4-52)$$

Q_{vyr} výrobní teplo kotle K1 (MW),

η_k účinnost kotle K1(-),

Q_i^r výhřevnost paliva (MJ/kg).

Tab. 4-2 Parametry kotle K1 na TKV

Parametry	značka	hodnota	jednotky
Tlak napájecí vody	p_{nv}	9,62	MPa
Tlak syté páry	p_p	7,6	MPa
Tlak přehřáté páry	p_{ap}	7,36	MPa
Teplota napájecí vody	t_{nv}	184,5	°C
Teplota syté páry	t_p	250,3	°C
Teplota admisní páry	t_{ap}	490,6	°C
Výhřevnost paliva	Q_i^r	22,34	MJ/kg
Průtok páry	m_p	60	t/h
Účinnost kotle	η_k	90,38	%

Teplo, dodáno v EKO

$$Q_{EKO} = m_p \cdot i_2 - i_1 \quad [kW] \quad (4-53)$$

$$Q_{EKO} = \frac{60}{3,6} \cdot 787,2 - 447,3 = 5\,664 \text{ kW}$$

m_p množství páry (kg/s),

i_2 entalpie napájecí vody na výstupu z EKO (kJ/kg),

i_1 entalpie napájecí vody na vstupu do EKO (kJ/kg).

$h_1 = \text{Enthalpy}(\text{Steam_IAPWS}; P=p_{nv,in}; T=T_{nv,in})$

$$i_1 = 787,2 \text{ kJ/kg}$$

$h_2 = \text{Enthalpy}(\text{Steam_IAPWS}; T=T_{nv,out}; P=P_{nv,out})$

$$i_2 = 447,3 \text{ kJ/kg}$$

Teplo, dodáno ve výparníku

$$Q_{vyp} = m_p \cdot i_3 - i_2 \quad [kW] \quad (4-54)$$

$$Q_{vyp} = \frac{60}{3,6} \cdot 2764 - 787,2 = 32\,946,7 \text{ kW}$$

m_p množství páry (kg/s),

i_3 entalpie syté páry (kJ/kg),

i_2 entalpie napájecí vody na výstupu z EKO (kJ/kg).

$h_3 = \text{Enthalpy}(\text{Steam_IAPWS}; x=1; P=P_p)$

$$i_3 = 2764 \text{ kJ/kg}$$

Teplo, dodáno v přehříváku

$$Q_{pře} = m_p \cdot i_4 - i_3 \quad [kW] \quad (4-55)$$

$$Q_{pře} = \frac{60}{3,6} \cdot 3384 - 2764 = 10\,333,3 \text{ kW}$$

m_p množství páry (kg/s),

i_4 entalpie přehřáté páry (kJ/kg),

i_2 entalpie syté páry (kJ/kg).

$h_4 = \text{Enthalpy}(\text{Steam_IAPWS}; T=T_{ap}; P=P_{ap})$

$$i_4 = 3384 \text{ kJ/kg}$$

Spotřeba uhelného prášku

$$m_{pal} = \frac{Q_{vyr}}{\eta_k \cdot Q_i^r} = \frac{Q_{EKO} + Q_{vyp} + Q_{pře}}{\eta_k \cdot Q_i^r} = \frac{5\,664 + 32\,946,7 + 10\,333,3}{0,9083 \cdot 22\,340} = 2,41 \text{ kg/s}$$

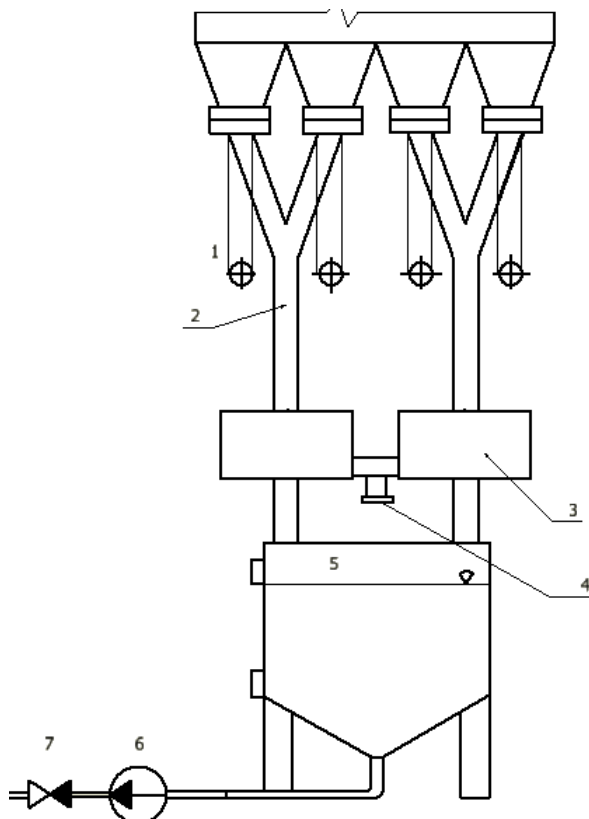
$$m_{pal} = 2,41 \cdot 3600 = \mathbf{8\,676 \text{ kg/h}}$$

5. Výběr a popis technického řešení úprav pro kotle TKV

Při odstavování kotle z provozu musí dojít k úplnému vyprázdnění zásobníku prášku. V případě, že z jakýchkoliv příčin k tomu nedošlo, musí se do 48 hod. buď kotel zpět uvést do provozu, nebo havarijně vyprázdnit zásobník prášku. Havarijní vyprázdnění prášku se provádí přes podavače jen při zapáleném kotli, tj. při zapálených plynových hořácích. Je zakázáno vyprazdňovat práškový zásobník do kotle, který není v provozu, nebo nemá zapálené plynové hořáky.

5.1. Havarijní výpust' ze zásobníku – čajník

Navrhované zařízení pracuje na principu nízkotlakého hydraulického splavování uhlénoho prášku. Toto zařízení bude schopno havarijně vypustit zásobník mimo prostor kotle, a to do čajníku a následně přes zauhlovací most na uhlounou skládku. Zařízení je zobrazeno na Obr. 5-1 *Zařízení pro havarijní odvod uhlénoho prášku.*



Obr. 5-1 Zařízení pro havarijní odvod uhlénoho prášku

Stávající část potrubí k výstupní přírubě podavačů bude demontováno a vznikne tak místo pro následnou montáž Y kusů, které budou sloužit k havarijnímu odvodu uhelného prášku. Zaslepením potrubí pomocí přírub bude možno uhelný prášek buď dopravit do kotle (1), nebo Y-kusy (2) do čajníku (3). Uhelňý prášek bude v čajníku směřován s vodou. Voda do čajníku (4) bude přiváděna z rozvodu požární vody. Směs prášku a vody bude následně splavována do vyrovnávací nádrže (5). Z nádrže bude směs pomocí čerpadla (6) dopravována po zauhlovacím mostě až na uhelnou skládku. Za čerpadlem bude zpětný ventil (7), který zabrání zpětnému proudění a rázům pracovní látky.

5.2. Výpočet množství vody určené k havarijnímu vyprázdnění zásobníku uhelného prášku

Hustota uhelného prášku

$$\rho_{up} = \rho_{pal} \cdot \frac{100 - W_1}{100 - W} \quad [kg/m^3] \quad (5-1)$$

$$\rho_{up} = 1,1 \cdot \frac{100 - 2}{100 - 7,68} = 1,2 \text{ t/m}^3$$

ρ_{pal} měrná hmotnost, pro černé uhlí $\rho_{pal} = 1\,100 \text{ (kg/m}^3\text{)}$,

W_1 zbytkový obsah vody v uhelné částici (%),

W obsah vody v surovém palivu (%),

Maximální množství uhelného prášku v ZUP o objemu $V=30 \text{ m}^3$

$$m_{up} = \rho_{up} \cdot V_{ZUP} \cdot \kappa \quad [kg/m^3] \quad (5-2)$$

$$m_{up} = 1,2 \cdot 30 \cdot 0,75 = 27 \text{ t}$$

κ součinitel naplnění zásobníku, $\kappa = 0,75 \div 0,85 \text{ (-)}$,

V_{ZUP} objem zásobníku uhelného prášku (m^3).

Množství přivedené vody určené ke splavování uhelného prášku by měla být v poměru 1:5, tzn., že na 1 tunu uhelného prášku připadá 5 tun vody.

$$m_v = 5 \cdot 27 = 100 \text{ t}$$

$$V_v = 135 \text{ m}^3$$

Objemový průtok vody

$$Q_v = S \cdot w = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (5-3)$$

$$Q_v = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 2,5 = 0,0196 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 70,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sprůřez potrubí (m^2),

v rychlost proudění vody v potrubí, navrhuto $v = 2,5 \text{ m/s}$,

D vnitřní průměr potrubí, navrhuto $d = 100 \text{ mm}$.

Kritická rychlost vody

Při průtoku směsi vody a uhelného prášku mohou být zrna buď vlečena po spodním povrchu potrubí, nebo se vznášejí v proudící vodě, která je unáší. Rychlost, při které se začíná větší množství zrn hromadit a hrozí ucpání potrubí, se nazývá kritická rychlost vody.

$$w_{kr} = 0,2 \cdot d^{0,65} \cdot e^{2,86 \cdot d - 0,13} \cdot \rho_{sm} \cdot g^{0,5} \cdot D^{0,54} \quad [\text{m/s}] \quad (5-4)$$

$$w_{kr} = 0,2 \cdot 0,00009^{0,65} \cdot e^{2,86 \cdot 0,00009 - 0,13} \cdot 960 \cdot 9,81^{0,5} \cdot 0,1^{0,54} = 0,012 \text{ m/s}$$

d ekvivalentní průměr zrna (mm),

g gravitační zrychlení (m/s^{-2}).

5.3. Výpočet tlakové ztráty

Kinematická viskozita při teplotě $t = 20^\circ\text{C}$

$$\nu = \frac{1,79 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (5-5)$$

$$\nu = \frac{1,79 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337 \cdot 20 + 0,000221 \cdot 20^2} = 1,016 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu} \quad [-] \quad (5-6)$$

$$Re = \frac{2,5 \cdot 0,1}{1,0016 \cdot 10^{-6}} = 246\,063 > 2320 \quad \text{turbulentní proudění}$$

w rychlost vody v potrubí (m/s),

D vnitřní průměr potrubí (mm),

ν kinematická viskozita při dané teplotě (m^2/s)

Součinitel tření

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad [-] \quad (5-7)$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{249\,004^{0,25}} = 0,0142$$

Tlaková ztráta třením

$$\Delta p_{zt} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_{sm} \quad [\text{Pa}] \quad (5-8)$$

$$\Delta p_{zt} = 0,0142 \cdot \frac{302}{0,1} \cdot \frac{2,5^2}{2} \cdot 1\,029 = 136\,986 \text{ Pa} = \mathbf{137 \text{ kPa}}$$

Δp_{zt} tlaková ztráta třením (Pa),

λsoučinitel tření (-),

Ldélka rovného úseku potrubí (m).

Hustota dopravované směsi

$$\rho_{sm} = \frac{\rho_v \cdot \rho_{up} \cdot \frac{1}{\mu} + 1}{\frac{1}{\mu} \cdot \rho_v + \rho_{up}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (5-9)$$

$$\rho_{sm} = \frac{1\,000 \cdot 1\,200 \cdot \frac{1}{5} + 1}{\frac{1}{5} \cdot 1\,000 + 1200} = \mathbf{1\,029 \text{ kg/m}^3}$$

ρ_{sm} hustota dopravované směsi (kg/m^3),

μ poměrná spotřeba vody ke splavování uhelného prášku (kg/kg).

Tlaková ztráta místními odpory

Součinitelé místní ztráty jsou uvedeny v *Tab. 5-1 Přehled typů potrubí a armatur pro navrhované zařízení*.

$$\Delta p_{zm} = \zeta_{zm} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_{sm} \quad [\text{Pa}] \quad (5-10)$$

$$\Delta p_{zm} = 12 \cdot 0,5 + 6,1 + 1 \cdot \frac{2,5^2}{2} \cdot 1\,029 = \mathbf{42,1 \text{ kPa}}$$

Δp_{zm} tlaková ztráta místními odpory (Pa).

ζ_{zm}součinitel místní ztráty (-).

Tab. 5-1 Přehled typů potrubí a armatur pro navrhované zařízení

Typ potrubí, armatury	DN [mm]	Délka l [m]	d/R	Ztrátový součinitel	Počet kusů
Nasávání					
Koleno 90°	125		1	0,5	2
Vlnovec nerez	125	2			
Výtlačk					
Redukce 80/100	80			1	1
Koleno 90°	100		1	0,5	10
Zpětný ventil	100	0,4		6,1	1
Vlnovec nerez	100	300			

Celková tlaková ztráta

$$\Delta p_c = \Delta p_{zt} + \Delta p_{zm} = 137 + 42,1 = 179,1 \text{ kPa}$$

5.4. Návrh čerpadla

Výpočet je proveden dle katalogu výrobce (Calpeda), který je uveden v *Příloze č. 2 Datový nosič CD*, a slouží k výběru vhodného čerpadla.

Geodetický rozdíl zařízení

$$Hg = Hg_v - Hg_s = 26,3 - 2 = 24,3 \text{ m} \quad [m] \quad (5-11)$$

Hg_vgeodetická výška výtlačná (m),

Hg_sgeodetická výška sací (m).

Tlakové ztráty v potrubí a armaturách

Podle průtoku a rozměrů potrubí je pomocí *Tab. 5-2 Tlakové ztráty v potrubí*, určená tlaková ztráta pro sací a výtlačné potrubí. Protože hodnota tlakové ztráty není pro daný průtok $Q = 70,7 \text{ m}^3/\text{h}$ udána, je nutné provést interpolaci.

$$HL_{Q(70,7)} = \frac{HL_{Q(90)} - HL_{Q(60)}}{Q_{(90)} - Q_{(60)}} \cdot (Q_{70,7} - Q_{60}) + HL_{Q(60)} \quad [\text{m}] \quad (5-12)$$

Sací potrubí DN 125, délka 2 m, dle rovnice (5-12)

$$HL_{Q(70,7)} = \frac{4 - 1,8}{90 - 60} \cdot (70,7 - 60) + 1,8 = 2,58 \text{ m}$$

Hodnota tlakové ztráty se vztahuje na potrubí o délce 100 m, proto je třeba přepočítat ztrátu pro potrubí délky 2 m.

$$p_{PS} = \frac{2 \cdot 2,58}{100} = \mathbf{0,05 \text{ m}}$$

Výtlačné potrubí DN 100, délka 300 m, dle rovnice (5-12)

$$HL_{Q(70,7)} = \frac{11 - 5}{90 - 60} \cdot (70,7 - 60) + 5 = 7,14 \text{ m}$$

$$p_{PV} = \frac{300 \cdot 7,14}{100} = \mathbf{21,4 \text{ m}}$$

Tab. 5-2 Tlakové ztráty v potrubí

Tubo G Ø mm	Q m³/h	1	3	6	9	12	18	24	30	36	42	48	60	90	120	180
	Q l/min	16	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	3000
G 1 DN 25		2,7 0,6	21 1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/4 DN 32		0,7 0,35	5,5 1	22 2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/2 DN 40		-	1,8 0,7	7 1,35	14 1,9	23 2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2 DN 50		-	0,5 0,4	2,2 0,8	4 1,25	8 1,5	17 2,5	28 3,2	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2 1/2 DN 65		-	-	0,6 0,5	1,2 0,75	2,1 1	4,2 1,4	8 2	12 2,5	17 3	22 3,4	28 4	-	-	-	-
DN 80	HL v m/100m m/s	-	-	-	-	0,8 0,7	1,6 0,95	2,8 1,25	4,2 1,6	6,5 2	7,5 2,1	10,5 2,6	15 3,3	-	-	-
DN 100		-	-	-	-	-	0,55 0,6	0,9 0,8	1,4 1,1	2 1,25	2,4 1,4	3,5 1,6	5 2	11 3,2	20 4	-
DN 125		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 0,95	1,2 1,1	1,8 1,4	4 2	6,5 2,7	15 4
DN 150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 0,9	1,5 1,4	2,5 1,7	5 2,7
DN 200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 0,8	0,6 1	1,3 1,6
DN 250		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 1
DN 300		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Q Průtok.

HL Tlaková ztráta na každých 100 m.

v = Rychlost: max 1,5 m/s při nasávání a 3 m/s při výtlačku.

Následně pomocí *Tab. 5-3 Tlakové ztráty v ohybech a zpětných ventilech* dopočítáme celkovou ztrátu Δp_c

$$\Delta p_c = p_{PS} + p_{PV} + p_c = 0,05 + 21,4 + 2,7 = 24,2 \text{ m} \quad [\text{m}] \quad (5-13)$$

Tab. 5-3 Tlakové ztráty v ohybech a zpětných ventilech

Typ armatury	DN [mm]	Délka l [m]	d/R	Ztrátový součinitel	Počet kusů	Tlaková ztráta p_c
Nasávání						
Koleno 90°	125		1	0,091	2	0,182
Výtlač						
Redukce 80/100	80			1	1	1
Koleno 90°	100		1	0,091	10	0,91
Zpětný ventil	100	0,4		0,58	1	0,58
Celkem						2,7

Celková tlaková manometrická výška

$$H_{MT} = Hg + \Delta p_c = Hg_v - Hg_s + \Delta p_c \quad [\text{m}] \quad (5-14)$$

$$H_{MT} = 24,3 + 24,2 = \mathbf{48,5 \text{ m}}$$

H_{MT}celková tlaková manometrická výška (m).

Hg geodetický rozdíl zařízení (m),

Δp_ccelková ztráta (m).

Čerpadlo

Dle katalogu firmy Calpeda, *Příloha č. 2 Datový nosič CD*, a vypočtené celkové tlakové manometrické výšky volím odstředivé čerpadlo s axiálním sáním, typ N4 80-400A, motor 200 L4, $n = 1800 \text{ min}^{-1}$

Tabulka výkonů $n = 1450 \text{ 1/min}$

ČERPADLO B-N4	ČERPADLO N4	MOTOR	P ₂ kW	Q m³/h	30	33	37,8	42	48	54	60	66	75
				Q l/min	500	550	630	700	800	900	1000	1100	1250
B-N4 80-400A	N4 80-400A	200 L4	30	H P₃	61,5 12,65	61,4 13,2	61,3 14	61,1 14,7	60,8 15,6	60,2 16,5	59,4 17,4	58,4 18,25	56,5 19,4

N4 Standardní provedení.

P₂ Jmenovitý výkon motoru.

H Celková tlaková výška v m.

* Maximální sací výška 1-2 m

B-N4 Bronzové provedení.

P₃ Příkon čerpadla.

Pracovní bod čerpacího systému

Pracovní bod čerpacího systému je dán průsečíkem charakteristiky potrubí a čerpadla. Abychom mohli určit pracovní bod, musíme stanovit charakteristiku potrubí. Měrná energie potrubí sestává ze statické složky a ztrátové energie sacího a výtlačného potrubí. [9]

$$Y_p = Y_{st} + Y_{zs} + Y_{zv} \quad [\text{kJ/kg}] \quad (5-15)$$

Statická složka měrné energie

$$Y_{st} = g \cdot Hg \quad [\text{kJ/kg}] \quad (5-16)$$

Z rovnice (5-11) je $H_g = 24,3$ m, pak:

$$Y_{st} = 9,81 \cdot 24,3 = 238,4 \text{ kJ/kg}$$

Ztrátová měrná energie pro sací potrubí

$$Y_{zs} = \lambda \cdot \frac{L_s}{D_s} + \zeta_{zm} \cdot \frac{w^2}{2} = \lambda \cdot \frac{L_s}{D_s} + \zeta_{zm} \cdot \frac{8}{\pi^2 \cdot D_s^4} \cdot Q^2 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (5-17)$$

$$Y_{zs} = 0,0142 \cdot \frac{2}{0,125} + 0,5 \cdot \frac{8}{\pi^2 \cdot 0,125^4} \cdot Q^2 = 2\,414,4 \cdot Q^2 \text{ J/kg}$$

λsoučinitel tření (-),

L_sdélka sacího potrubí (m),

D_sprůměr sacího potrubí (m),

ζ_{zm}součinitel místní ztráty (-), určeno dle Tab. 7-1

wrychlost v potrubí (m/s),

Qprůtok (m^3/s).

Ztrátová měrná energie pro výtlačné potrubí

$$Y_{zv} = \lambda \cdot \frac{L_v}{D_v} + \zeta_{zm} \cdot \frac{8}{\pi^2 \cdot D_v^4} \cdot Q^2 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (5-18)$$

$$Y_{zv} = 0,0142 \cdot \frac{300}{0,1} + 13,6 \cdot \frac{8}{\pi^2 \cdot 0,1^4} \cdot Q^2 = 455\,540 \text{ J/kg}$$

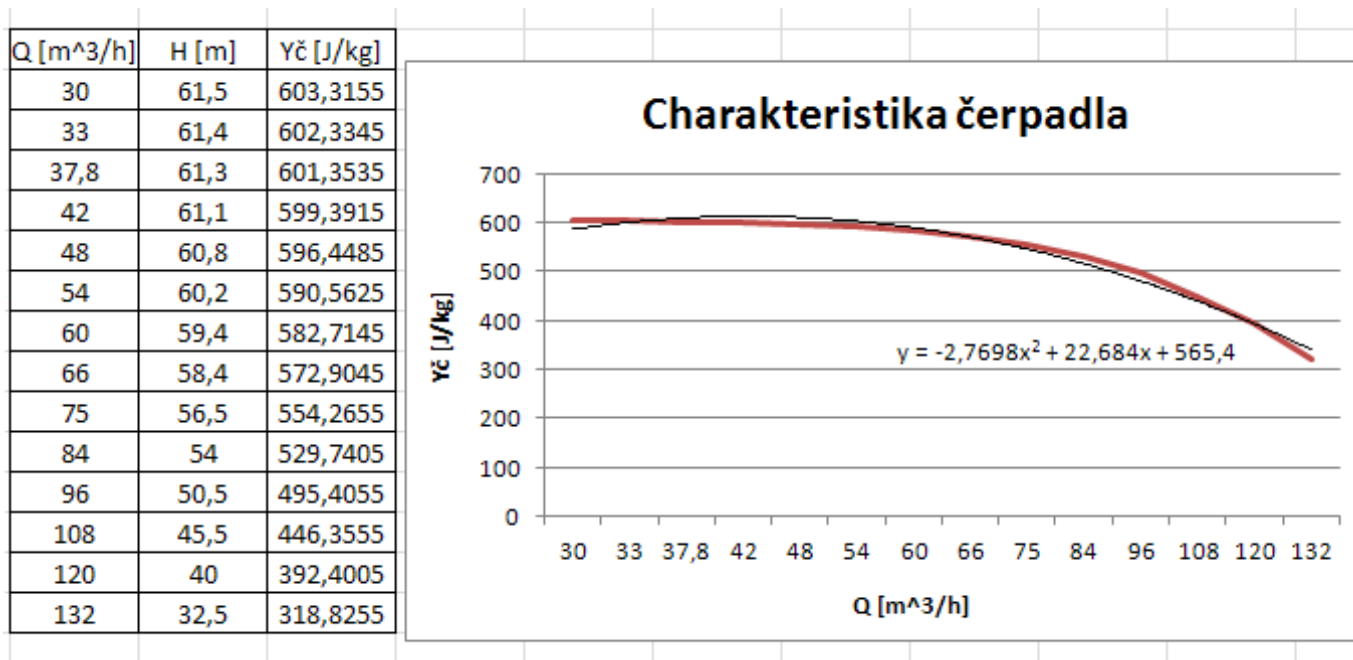
L_vdélka sacího potrubí (m),

D_vprůměr sacího potrubí (m),

Výsledná charakteristika potrubí

$$Y_p = Y_{zs} + Y_{zv} + Y_p = 238,4 + 457\,954,4 \cdot Q^2$$

Charakteristika čerpadla



Obr. 5-2 Stanovení charakteristiky čerpadla v programu Microsoft Excel 2010

Rovnice trendu zobrazená v grafu představuje rovnici měrné energie čerpadla.

$$Y_{\text{č}} = -2,7698 \cdot Q^2 + 22,684 \cdot Q + 565,4$$

Protože v pracovním bodě je měrná energie potrubí identická směrnou energií čerpadla platí:

$$Y_p = Y_{\text{č}}$$

$$238,4 + 457\,954,4 \cdot Q^2 = -2,7698 \cdot Q^2 + 22,684 \cdot Q + 565,4$$

Vyřešením kvadratické rovnice dostaneme hodnotu průtoku

$$457\,957,1698 \cdot Q^2 - 22,684 \cdot Q - 327 = 0$$

$$Q = 0,02675 \text{ m}^3/\text{s}$$

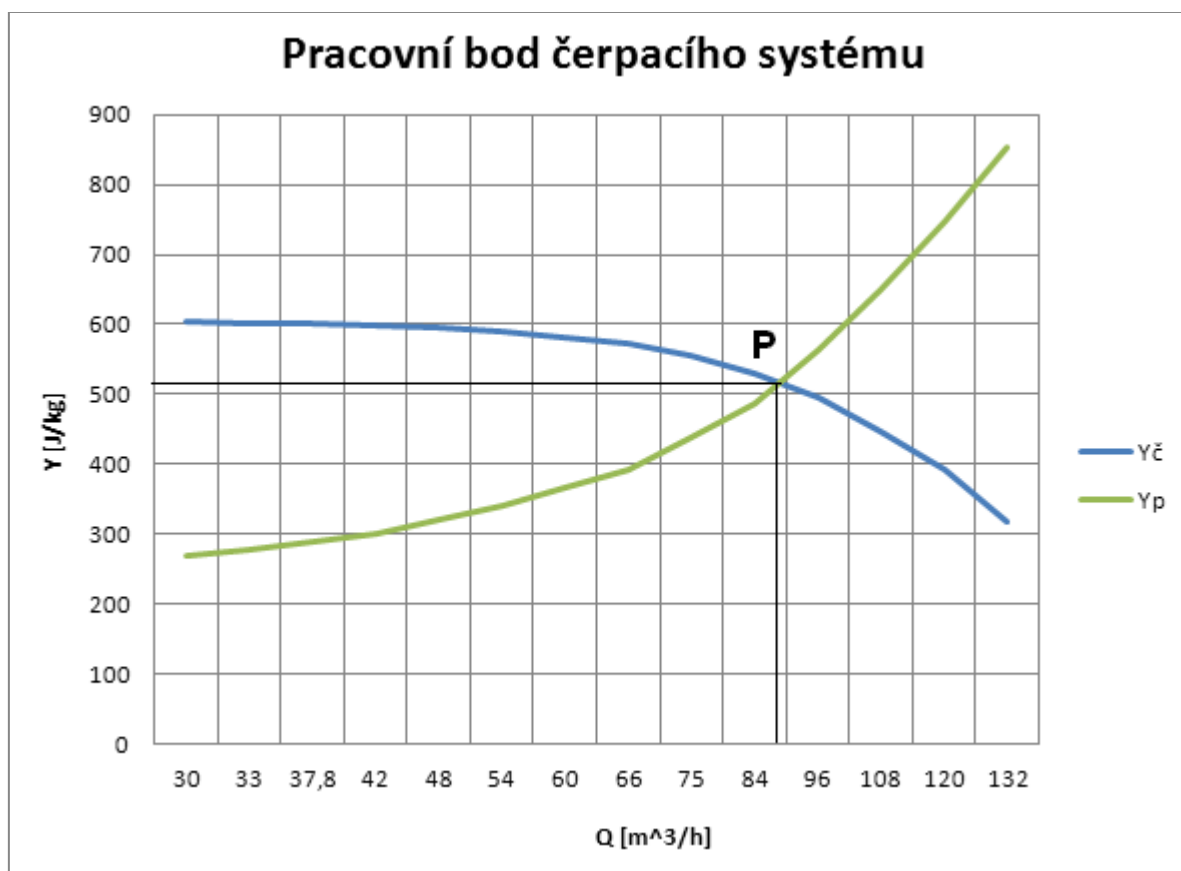
Dosažením průtoku do charakteristiky potrubí a čerpadla získáme hodnotu měrné energie

$$Y_p = 238,4 + 457\,954,4 \cdot Q^2$$

$$Y_p = 238,4 + 457\,954,4 \cdot 0,02675^2 = \mathbf{512,6 \text{ J/kg}}$$

$$Y_{\xi} = -2,7698 \cdot Q^2 + 22,684 \cdot Q + 565,4$$

$$Y_{\xi} = -2,7698 \cdot 0,02675^2 + 22,684 \cdot 0,02675 + 565,4 = \mathbf{512,6 \text{ J/kg}}$$



Obr. 5-3 Grafické zobrazení charakteristiky potrubí, čerpadla a pracovního bodu

Měrná energie a hodnota průtoku v pracovním bodě

$$Y = 512,6 \text{ J/kg}$$

$$Q = 90 \text{ m}^3/\text{h} = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Stanovení hydraulického výkonu

$$P = \rho \cdot Y \cdot Q \quad [\text{W}] \quad (5-19)$$

$$P = 1\,029 \cdot 512,6 \cdot 0,025 = 13\,187 \text{ W}$$

5.5. Jednotlivé části navrhovaného zařízení

Stávající část potrubí k výstupní přírubě podavačů bude demontována a nahrazena nově instalovanými Y-kusy (kóta 9,4 m), které budou sloužit k havarijnímu odvodu uhelného prášku. Zaslepením potrubí pomocí přírub bude možno uhelný prášek buď dopravit do kotle, nebo Y-kusy do čajníku. K Y-kusům budou připojeny pomocí přírub vlnovcové hadice (materiál nerez), které budou sloužit k dopravě uhelného prášku do čajníku.

Y-kusy

Počet kusů: 8 ks (pro každý zásobník 2 ks)

Materiál: ocel tř. 11

Rozměry: Příloha č. 1 Havarijní odvod uhelného prášku

Vlnovcové hadice

Výrobce:	WITZENMANN
Typ:	RS 430 L52
Počet kusů:	8 (pro každý zásobník 2ks)
Rozměry:	DN 200, délka 3 m (celkově 24 m)
Teplotní rozsah:	max. 600°C

Čajník bude oválného tvaru, se dvěma komorami, které jsou z horní poloviny odděleny přepážkou, vstupní komora – prášek, výstupní komora směs vody a prášku. Do výstupní komory bude zaústěn vstup vody přiváděné pomocí hadice připojené k rozvodu požární vody, dno bude opatřeno odkalovacím ventilem. Vstupní komora bude vybavena z boku čistícím otvorem, výstupní komora bude mít odnímatelnou horní část. Ovládání čajníku bude obnášet otevření nebo zavření přívodu vody servopohonem.

Čajník

Počet kusů:	8 ks (pro každý zásobník 2 ks)
Materiál:	ocel tř. 11
Rozměry:	<i>Příloha č. 1 Havarijní odvod uhelného prášku</i>

Směs prášku a vody bude následně splavována pomocí potrubí do vyrovnávací nádrže. Navrhovaná nádrž bude válcová s kuželovým dnem, materiál plast, objem 2,57 m³. Nádrž bude vybavena monitorováním hladiny. Při poklesu hladiny vody v nádrži dojde k signalizaci a následné regulaci čerpadla (snížení otáček), při překročení nastavené hladiny dojde naopak ke zvýšení otáček čerpadla. Nádrž bude ustavená v ocelovém podstavci a vyrobena v mobilním provedení.

Hadice

Výrobce:	Bílek hadice
Počet kusů:	8 ks (pro každý zásobník 2 ks)
Rozměry:	DN 200, délka 3 m

Vyrovnávací nádrž

Výrobce:	AVT, s.r.o. Hradec Králové
Počet kusů:	1 ks (mobilní)
Materiál:	plast
Rozměry:	<i>Příloha č. 1 Havarijní odvod uhelného prášku</i>

Na výstupu z nádrže bude namontována hadice (DN 125), která bude následně připojena k vstupní přírubě čerpadla.

Hadice

Výrobce:	Bílek hadice
Typ:	IAL
Počet kusů:	1 ks
Rozměry:	DN 125, délka 4 m
Pracovní tlak:	0,6 MPa

Na výtlaku čerpadla bude nainstalována redukce 80/100 mm (materiál plast), ke kterému bude následně napojena hadice DN 100.

Odstředivé čerpadlo s axiálním sáním

Výrobce:	Calpeda
Typ:	čerpadlo N4 80-400A, motor 200 L4
Otáčky:	1 800 min ⁻¹
Max. průtok:	90 m ³ /h
Celková tlaková výška:	50,5 m

Hadice

Výrobce:	Bílek hadice
Typ:	IAL
Počet kusů:	1 ks
Rozměry:	DN 100 mm, délka 20 m
Pracovní tlak:	0,6 MPa

Zpětný ventil

Výrobce:	COREX Pardubice s.r.o.
Typ:	Z 16 117 616
Počet kusů:	1 ks
Rozměry:	DN 100 mm
Nejvyšší pracovní tlak:	PN 16

Výtlačné potrubí bude vybaveno zpětným ventilem, který zabrání zpětnému proudění a rázům pracovní látky. Hadice DN 100 bude připojena k potrubí DN 100 na kótě 0,5 m.

Potrubí bude připevněno v zadní stěně kotelny za trubnatými mlýny a povede svisle až na kótu 6 m, kde bude napojeno na páteřní rozvod. Tento rozvod bude opatřen 4 připojovacími místy (pro každý zásobník), na kterých budou namontovány příruby k zaslepení. Potrubí bude dále svedeno až na kótu 26,3 m a následně po zauhlovacím mostě až na uhelnou skládku

Potrubí

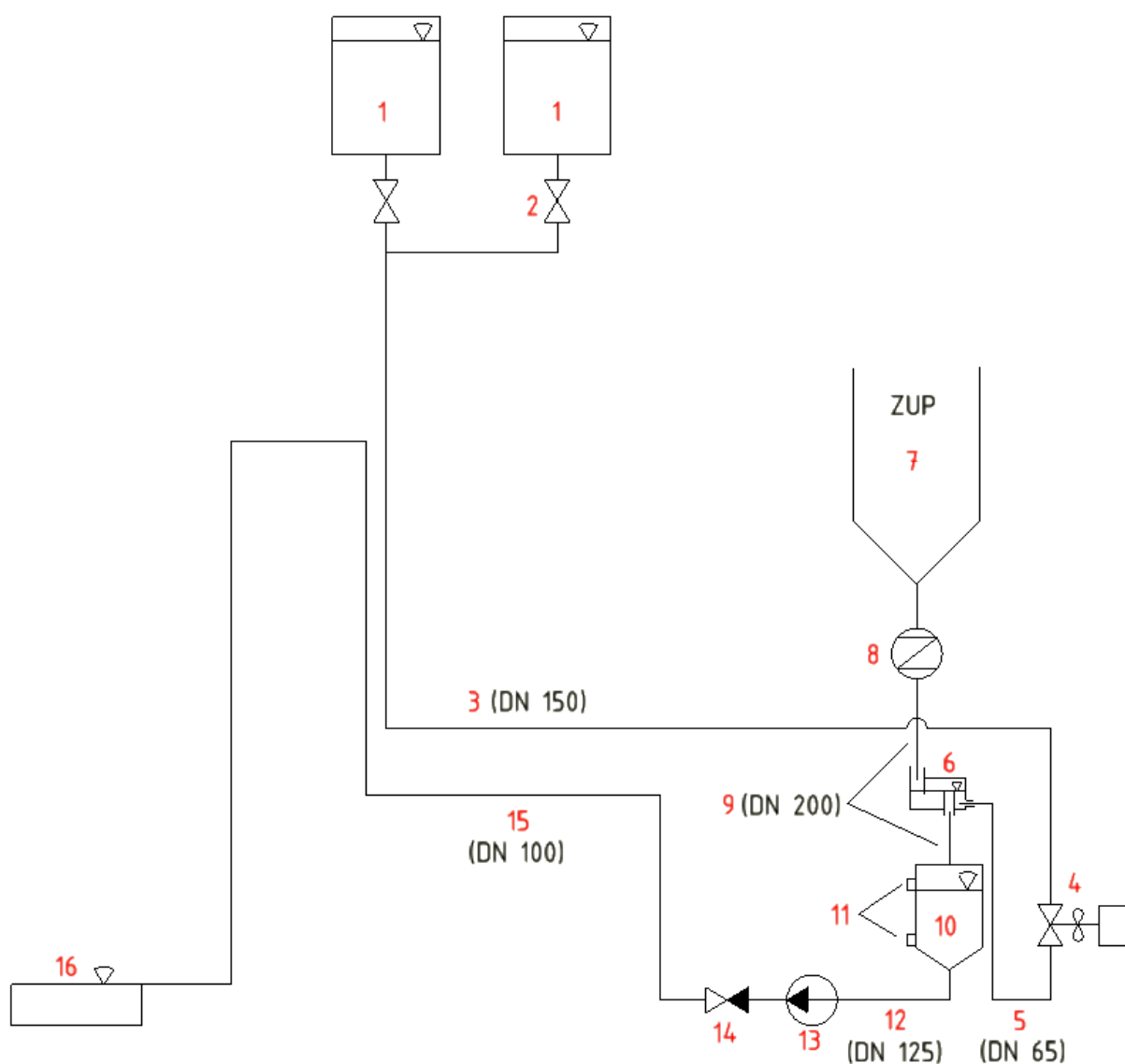
Rozměry:	DN 100 mm, délka 280 m
Pracovní tlak:	0,6 MPa
Materiál:	plast

5.6. Uvedení zařízení do provozu

V případě havarijního vypouštění uhelného prášku ze zásobníku (7), je nutné v první řadě zaslepit potrubí na výstupu z komůrkových podavačů (8) do práškovodů a zprůchodnit potrubí Y-kusů u zásobníku uhelného prášku, který je nutné havarijně vyprázdnit. Ze zásobníků požární vody (1) bude dopravována voda potrubím DN 150 (3) na kótu 1 m. Následuje připojení hadic DN 65 (5) k rozvodům požární vody na kótě 1 m a jejich připojení k čajníkům (6). Hadice DN 200 (9) na výstupu z čajníků budou připojeny k vyrovnávací nádrži (10). Ta bude vybavena monitorováním hladiny (11), z nádrže bude vyvedena hadice DN 125 (12) a připojena ke vstupní přírubě k čerpadlu (13), na výstupní přírubu bude namontována hadice DN 100 (spolu s redukcí 80/100) a zpětný ventil (14). Tato hadice bude následně připojena k páteřnímu rozvodu potrubí DN 100 (15), který bude umístěn za mlýny. Páteřní rozvod bude mít 4 připojovací místa (pro každý zásobník určeno 1 připojovací místo), které budou zaslepeny pomocí přírub. Před uvedením zařízení do provozu musí dojít k zprůchodnění (odstranění zásepky) požadovaného připojovacího místa určeného pro daný zásobník. Potrubí páteřního rozvodu bude dále svedeno na kótu 26,3 m a po zauhlovacím mostě na uhelnou skládku (16).

Po kontrole a kompletním připojení jednotlivých částí, lze zařízení uvést do provozu. Je třeba dodržet následující kroky v tomto pořadí:

1. Zajistit přívod požární vody do čajníků, přívod ovládaný servopohonem (4)
2. Uvést do provozu komůrkové podavače a tím umožnit vyprazdňování zásobníku
3. Spustit čerpadlo
4. Provést kontrolu, zda nedochází k úniku vody (těsnost jednotlivých částí)
5. V případě, že je vše v pořádku pokračovat ve vyprazdňování zásobníku



Obr. 5-4 Schéma zařízení k havarijnímu odvodu uhelného prášku ze ZUP

Pokud dojde k signalizaci, že proběhlo vyprázdnění zásobníku:

1. Zastavit komůrkové podavače
2. Přibližně po 30 min. zamezit přívodu vody do čajníků (propláchnutí)
3. Vyprázdnit vyrovnávací nádrž
4. Vypnutí čerpadla
5. Provést demontáž hadice DN 65 připojené k čajníkům
6. Následně odpojit hadice DN 200 a DN 125 od nádrže
7. Hadice DN 100 odmontovat od čerpadla
8. Přesun nádrže k hadici DN 100 se zpětným ventilem (ZV)
9. Odstranění víka nádrže, zaslepení dna nádrže
10. Nad nádrží provést povolení šroubů přítlačného členu ZV, tím dojde k odvodu vody, která nebyla odčerpána z potrubního systému
11. Demontáž hadice DN 100 od připojovacího místa (kóta 1,5 m)
12. Zaslepení připojovacího místa pomocí příruby

6. Technicko-ekonomické zhodnocení přínosu rekonstrukce.

Realizaci díla bude minimalizováno nebezpečí zahoření prášku v zásobnících, případně riziko výbuchu v kotelně. Zařízení bylo navrženo tak, aby bylo co nejjednodušší a přitom vyhovovalo podmínkám na TKV. Jednotlivé části jsou snadno smontovatelné, takže v případě potřeby lze zařízení rychle zprovoznit. Aby se snížily náklady na celkovou realizaci, uvažuje se s použitím jednoho kusu čerpadla a vyrovnávací nádrže v mobilním provedení pro všechny zásobníky uhelného prášku. V rámci ekonomického zhodnocení rekonstrukce byly osloveny firmy, které poskytly informace o přibližné ceně jednotlivých částí navrhovaného zařízení

Odstředivé čerpadlo s axiálním sáním

Výrobce:	Calpeda
Typ:	čerpadlo N4 80-400A, motor 200 L4
Cena:	254 784,- Kč

Vlnovcové hadice

Výrobce:	WITZENMANN
Typ:	RS 430 L52
Připojovací armatury:	pevná krková příruba typ GB12/DN 200 otočná příruba typ VP11/ DN 200
Cena:	58 800 Kč/ks

Vyrovnávací nádrž

Výrobce:	AVT, s.r.o. Hradec Králové
Cena:	cca 100 000,- Kč

Hadice

Výrobce:	Bílek hadice
Typ:	IAL, DN 125
Cena:	1 030,- Kč/m (bez DPH)

Hadice

Výrobce:	Bílek hadice
Typ:	IAL, DN 100
Cena:	880,- Kč/m (bez DPH)

Zpětný ventil

Výrobce:	COREX Pardubice s.r.o.
Typ:	Z 16 117 616, DN 100
Cena:	5 309,- Kč (bez DPH)

Potrubí

Rozměry:	DN 100
Cena:	114,1,- Kč/m

Přibližná cena na uskutečnění návrhu je uvedena v *Tab. 6-1 Cena jednotlivých částí navrhovaného zařízení*. Tato hodnota je pouze orientační, celková cena realizace by neměla převýšit částku 2 miliony Kč.

Tab. 6-1 Cena jednotlivých částí navrhovaného zařízení

	Rozměr	Délka [m]	Počet kusů [ks]	Cena za ks (m) [Kč/ks, Kč/m]	Cena celkem [Kč]
Čerpadlo N4 80-400A			1	254 784	254 784
Hadice RS 430 L52	DN 200	3	10	58 800	588 000
Nádrž plast			1	100 000	100 000
Hadice IAL	DN 125	4	1	1 030	4 120
Hadice IAL	DN 100	20	1	880	17 600
Zpětný ventil Z16 117 116	DN 100		1	5 309	5 309
Potrubí plast	DN 100	280	1	114,1	31 948
Celkem					1 001 761

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo stručné shrnutí problematiky samovznícení uhlého prášku a návrh zařízení sloužící k havarijnímu vyprázdnění zásobníků uhlého prášku u kotlů K1-K4 na Teplárně Karviná.

V úvodní části práce je popsána stávající technologie na Teplárně Karviná. Poté jsou vysvětleny pojmy výbušnost a samovznícení, spolu s faktory, které tyto nebezpečné vlastnosti uhlého prášku ovlivňují. Jako preventivní opatření k zajištění bezpečnosti mlýnského okruhu slouží monitorování zásobníků uhlého prášku, mezi které patří monitorování hladiny prášku, teploty a koncentrace oxidu uhelnatého. Nejvyšší přípustná teplota je stanovena normou a závisí na typu mlýnského okruhu, spalovaném palivu a sušícím médiu.

Následující část se zabývá výpočtem tepelné bilance mlýnského okruhu a spotřeby uhlého prášku pro kotle K1-K4. Na TKV je spalována směs paliv (černý prach, granulované kaly a biomasa). Pro zjednodušení je výpočet proveden pro spalování energetického prachu (Darkov, 0-20 mm) viz *Tab. 4-1 Spalované palivo a parametry mlýnského okruhu*. Spotřeba uhlého prášku pro kotel K1 je 8,7 t/h.

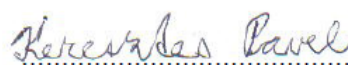
Další část práce je zaměřena na výběr a popis technického řešení úprav pro kotle TKV. K havarijnímu vypouštění uhlého prášku ze zásobníků bylo navrženo zařízení, viz *Obr. 5-1 Zařízení pro havarijní odvod uhlého prášku*, pracující na principu nízkotlakého hydraulického splavování. Byla vypočtena spotřeba vody určené ke splavování uhlého prášku, která činí 135 m³. Dále navrženo potrubí a vyrovnávací nádrž, a vypočtena tlaková ztráta v sacím a výtlačném potrubí, nezbytná pro správný výběr čerpadla. Tlaková ztráta navrhovaného zařízení je rovna 179,1 kPa. K dopravě směsi vody a uhlého prášku bude použito odstředivé čerpadlo s axiálním sáním, parametry jsou uvedeny v *Příloze č. 2 Datový nosič CD*. Jako součást návrhu byl vytvořen konstrukční výkres zařízení, viz *Příloha č. 1 Havarijní odvod uhlého prášku*.

V závěrečné části je pozornost věnována technicko-ekonomickému zhodnocení přínosu rekonstrukce. Celková cena realizace byla odhadnuta dle *Tab. 6-1 Cena jednotlivých částí navrhovaného zařízení*.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce, doc. Dr. Ing. Čech, a vedoucímu technologovi na Teplárně Karviná, Ing. Szyszkowicz, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Ostravě 18. 5. 2014

Handwritten signature of Kereš Pavel in blue ink, written over a dotted line.

Podpis studenta

8. Seznam použitých pramenů

- [1] Místní provozní a pracovní předpis – Obsluha kotlů číslo K1, K2, K3 a K4
- [2] Místní provozní a pracovní předpis – ZAÚHLOVÁNÍ
- [3] Místní provozní a pracovní předpis - STABILNÍ ZÁSObNÍKY NA SYPKÉ HMOTY
- [4] Dokumentace o ochraně před výbuchem - Závod TKV
- [5] Černý V. a kol. Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975
- [6] Doc. Ing. Černý CSc., Václav, Mletí a sušení uhlí, Vydavatelství ČVUT Praha, 1976
- [7] http://www.hasicihustejnet.eu/data/TPO/3rocnik/nebezpecne_latky_a_odpady_1
- [8] <http://projekty.fs.vsb.cz/414/parni-kotle.pdf>
- [9] <http://www.338.vsb.cz/PDF/Blechar-Drabkova-CTaPNDC.pdf>

9. Seznam Příloh

Příloha č. 1: Havarijní odvod uhelného prášku (výkres A0)

Příloha č. 2: Datový nosič CD (výpočty v EES, výkres, katalogy)